



**Universidad**  
Zaragoza



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

# **DISEÑO, ANÁLISIS Y ESTUDIO DE TRES GRÚAS ORTOPÉDICAS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE SOLIDWORKS**

## **MEMORIA**

**Autor:** Salinero Antón, Cristina

**Director/a:** Canalís Martínez, Paula María

**Especialidad:** Mecánica

**Convocatoria:** Septiembre 2012

## **INDICE GENERAL**

### **1. ENUNCIADO DEL PROYECTO   pág. 8**

- 1.1. OBJETO DEL PROYECTO   pág. 8
- 1.2. PETICIONARIO   pág. 8
- 1.3. DESTINATARIO   pág. 8
- 1.4. FECHA Y FIRMA DEL PROYECTO   pág. 8

### **2. TIPOLOGÍA DE GRÚAS ORTOPÉDICAS EN LA ACTUALIDAD pág. 9**

- 2.1. GRÚAS ORTOPÉDICAS MÓVILES PARA ELEVACIÓN Y TRASLADO  
CON ACTUADOR LINEAL   pág.9
- 2.2. GRÚAS ORTOPÉDICAS MÓVILES PARA ELEVACIÓN Y TRASLADO  
CON COLUMNA ELÉCTRICA   pág. 10
- 2.3. GRÚAS ORTOPÉDICAS DE TECHO FIJAS   pág. 11
- 2.4. GRÚAS ORTOPÉDICAS DE TECHO MÓVILES   pág. 12
- 2.5. GRÚAS ORTOPÉDICAS PARA USO EN PISCINAS Y BAÑERAS   pág. 13

### **3. DEFINICIÓN DE LAS GRÚAS ORTOPÉDICAS   pág. 14**

- 3.1. CARACTERÍSTICAS Y PARTICULARIDADES   pág. 14
  - 3.1.1. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con actuador lineal  
pág. 14
  - 3.1.2. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con columna eléctrica  
pág. 15
  - 3.1.3. Grúa ortopédica de techo móvil   pág. 16
  - 3.1.4. Arnés   pág. 17
- 3.2. COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS GRÚAS   pág. 18
  - 3.2.1. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con actuador lineal  
pág. 18

3.2.1.1. Cilindro   pág. 18

3.2.1.2. Brazo   pág. 19

3.2.1.3. Pilar   pág. 19

3.2.1.4. Base   pág. 20

3.2.1.5. Patas   pág. 21

3.2.1.6. Percha   pág. 21

**3.2.2. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con columna eléctrica  
pág. 22**

3.2.2.1. Percha   pág. 22

3.2.2.2. Brazo   pág. 22

3.2.2.3. Columna   pág. 23

3.2.2.4. Base   pág. 24

3.2.2.5. Patas   pág. 25

**3.3.3. Grúa ortopédica de techo móvil   pág. 26**

3.2.3.1. Patas   pág. 26

3.2.3.2. Pilares   pág. 26

3.2.3.3. Columna elevadora   pág. 27

3.2.3.4. Raíl   pág. 28

3.2.3.5. Percha   pág. 28

**3.3. MECANISMO DE CIERRE   pág. 29**

**3.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS GRÚAS   pág. 29**

**3.4.1. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con actuador lineal  
pág. 29**

**3.4.2. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con columna eléctrica  
pág. 30**

**3.4.3. Grúa ortopédica de techo móvil   pág. 30**

**4. ASPECTOS PREVIOS AL ANÁLISIS   pág. 31**

4.1. DIMENSIONADO   pág. 31

4.2. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS   pág. 32

## **5. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS GRÚAS   pág. 33**

5.1. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL DE ELEVACIÓN Y TRASLADO CON  
ACTUADOR LINEAL   pág. 33

### **5.1.1. Hipótesis de trabajo   pág. 33**

5.1.1.1. Cálculo de la posición más desfavorable   pág. 33

5.1.1.2. Carga a elevar   pág. 36

5.1.1.3. Fuerza del cilindro   pág. 36

### **5.1.2. Modelado en 3D   pág. 37**

5.1.2.1. Brazo   pág. 38

5.1.2.2. Pilar   pág. 39

5.1.2.3. Base   pág. 39

5.1.2.4. Percha   pág. 40

5.1.2.5. Patas   pág. 40

5.1.2.6. Ensamblaje   pág. 41

### **5.1.3. Simulación mediante el método de los elementos finitos   pág. 41**

5.1.3.1. Análisis con las patas de la grúa en posición cerrada   pág. 41

5.1.3.1.1. Materiales   pág. 41

5.1.3.1.2. Sujeciones   pág. 42

5.1.3.1.3. Cargas externas   pág. 42

5.1.3.1.4. Definición de los conectores   pág. 43

5.1.3.1.5. Mallado   pág. 44

5.1.3.1.6. Ejecución   pág. 45

5.1.3.2. Resultados de la ejecución con las patas en posición abiertas  
pág. 50

## 5.2. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL DE ELEVACIÓN Y TRASLADO CON COLUMNA ELÉCTRICA pág. 55

### 5.2.1. Hipótesis de trabajo pág. 55

5.2.1.1. Cálculo de la posición más desfavorable pág. 55

5.2.1.2. Carga a elevar pág. 58

### 5.2.2. Modelado en 3D pág. 58

5.2.2.1. Brazo pág. 59

5.2.2.2. Porta brazo pág. 59

5.2.2.3. Percha pág. 60

5.2.2.4. Columna pág. 60

5.2.2.5. Base pág. 61

5.2.2.6. Pata pág. 61

5.2.2.7. Ensamblaje pág. 62

### 5.2.3. Simulación mediante el método de los elementos finitos pág. 62

5.2.3.1. Análisis con las patas de la grúa en posición cerrada pág. 62

5.2.3.1.1. Materiales pág. 62

5.2.3.1.2. Sujeciones pág. 63

5.2.3.1.3. Cargas externas pág. 63

5.2.3.1.4. Definición de los conectores pág. 64

5.2.3.1.5. Mallado pág. 65

5.2.3.1.6. Ejecución pág. 67

5.2.3.2. Resultados de la ejecución con las patas en posición abiertas  
pág. 70

## 5.3. GRÚA ORTOPÉDICA DE TECHO MÓVIL pág. 74

### 5.3.1. Hipótesis de trabajo pág. 74

5.3.1.1. Cálculo de la posición más desfavorable pág. 74

5.3.1.2. Carga a elevar pág. 77

5.3.1.3. Fuerza de las columnas pág. 77

### **5.3.2. Modelado en 3D** pág. 77

5.3.2.1. Patas pág. 77

5.3.2.2. Pilares pág. 78

5.3.2.3. Columna pág. 78

5.3.2.4. Raíl pág. 79

5.3.2.5. Eje pág. 79

5.3.2.6. Percha pág. 80

5.2.2.7. Ensamblaje pág. 80

### **5.3.3. Simulación mediante el método de los elementos finitos** pág. 81

5.3.3.1. Materiales pág. 81

5.3.3.2. Sujeciones pág. 81

5.3.3.3. Cargas externas pág. 82

5.3.3.4. Definición de los conectores pág. 82

5.3.1.5. Mallado pág. 83

5.3.1.6. Ejecución pág. 84

## **6. OPTIMIZACIONES** pág. 89

6.1. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL DE ELEVACIÓN Y TRASLADO CON ACTUADOR LINEAL pág. 89

6.2. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL DE ELEVACIÓN Y TRASLADO CON COLUMNA ELÉCTRICA pág. 96

6.3. GRÚA ORTOPÉDICA DE TECHO MÓVIL pág. 103

## **7. COMPARACIÓN RESISTENTE DE LAS TRES GRÚAS** pág. 107

7.1. COMPARACIÓN EN EL DIMENSIONAMIENTO pág. 107

**7.1.1. Peso** pág. 107

**7.1.2. Altura, longitud y anchura** pág. 108

**7.1.3. Longitud del brazo pág. 110**

**7.1.4. Carrera pág. 111**

**7.2. COMPARACIONES EN EL FUNCIONAMIENTO pág. 112**

**7.2.1. Elementos electrónicos para elevar el brazo pág. 112**

**7.2.2. Movimientos de diferentes partes pág. 113**

**7.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL  
CÁLCULO ESTÁTICO pág. 114**

**7.3.1. Tensiones máximas pág. 114**

**7.3.2. Desplazamientos máximos pág. 116**

**7.3.3. Deformaciones máximas pág. 117**

**7.3.4. Factores de seguridad mínimos pág. 119**

**7.4. COMPARACIÓN DE LAS ZONAS DONDE SE LOCALIZAN LOS  
MAYORES ESFUERZOS pág. 120**

**7.4.1. Zona unión base pata pág. 120**

**7.4.2. Zona unión brazo y pilar pág. 122**

**7.4.3. Zona unión percha y brazo pág. 123**

**8. CONCLUSIONES pág. 126**

**9. BIBLIOGRAFÍA pág. 127**

**10. AGRADECIMIENTOS pág. 128**

## **1. ENUNCIADO DEL PROYECTO**

### **1.1. OBJETO DEL PROYECTO**

Este proyecto de final de carrera consiste en el diseño y análisis de la estructura de tres grúas ortopédicas, cuya finalidad es la elevación desde una posición sentada o tumbada de personas incapacitadas para vestirlas, asearlas o trasladarlas de lugar.

Cada grúa se accionará por un mecanismo diferente lo que permite mediante un estudio de diseño calcular los esfuerzos producidos en cada una de ellas para una misma carga, que en este caso será el peso de una persona.

Para realizar una comparación resistente de las tres grúas y comprobar que el diseño es coherente, se procede a la modelización de cada una de las partes que las componen mediante el programa SolidWorks. Gracias a este programa se realizan los análisis de rigidez y resistencia de los elementos relevantes que permiten observar carencias del diseño que han de optimizarse.

### **1.2. PETICIONARIO**

El presente proyecto ha sido realizado a petición de Dña. Paula Canalís Martínez, profesora en el área de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza, como trabajo de fin de carrera en la titulación de Ingeniería Técnica Industrial Mecánica.

### **1.3. DESTINATARIO**

Los destinatarios de estas máquinas son las instituciones sanitarias, como por ejemplo hospitales, centros de salud, clínica, etc. También son muy útiles en hogares con personas enfermas o con alguna minusvalía o incapacidad.

El uso de estas grúas puede ser llevado a cabo por una única persona sin en empleo de fuerza lo que ahorra tiempo y recursos.

### **1.4. FECHA Y FIRMA DEL PROYECTO**

Firmado por el proyectista:

CRISTINA SALINERO ANTÓN



## 2. TIPOLOGÍA DE GRÚAS ORTOPÉDICAS EN LA ACTUALIDAD

### 2.1. GRÚAS ORTOPÉDICAS MÓVILES PARA ELEVACION Y TRASLADO CON ACTUADOR LINEAL



Figura 1: Grúa ortopédica móvil con actuador lineal

Grúa ortopédica provista de un actuador lineal que eleva o desciende el brazo superior y este a su vez la percha en la que se coloca el arnés que sostiene a la persona. Existe una amplia gama de actuadores con diversas potencias dependiendo de la capacidad que esté destinada a soportar, siendo los pesos estándar 100 kg, 130 kg, 150 kg, 170 kg Y 200 Kg.

Una sola persona es capaz de manejarla con facilidad. Esta acciona con el pie el mecanismo que se encarga de la apertura de las patas y coloca la grúa junto al paciente, le coloca el arnés y mediante un sistema eléctrico la grúa le eleva. Una vez en la posición elevada se traslada la grúa hasta la posición de destino.

El movimiento de apertura o cierre de las patas es una gran ventaja a la hora de moverla por pasillos estrechos o colocar una silla de ruedas entre ellas. Este tipo de grúas pueden incluir un sistema de bipedestación para un mejor control de las piernas del paciente. También existen modelos plegables para viaje.

## 2.2. GRÚAS ORTOPÉDICAS MÓVILES PARA ELEVACIÓN Y TRASLADO CON COLUMNA ELÉCTRICA



Figura 2: Grúa ortopédica móvil con columna eléctrica

Grúa provista de una columna por la que se eleva verticalmente el conjunto de percha-mástil. Está accionada por baterías permitiendo a un solo cuidador gestionar con seguridad el manejo de la máquina.

El diseño de esta grúa proporciona gran robustez y permite elevar y transportar cargas hasta de 200 Kg. Su forma ergonómica está especialmente concebida para levantar y trasladar a aquellos pacientes que no se encuentran totalmente impedidos.

El funcionamiento es similar al de otras grúas de traslado. Se realiza la apertura de las patas mediante un dispositivo situado en la parte inferior de la grúa y se sitúa frente al paciente. Se coloca el arnés al paciente y se engancha a los extremos de la percha, a continuación el cuidador activa la grúa y esta se eleva permitiendo al paciente incorporarse.

No suelen tener el brazo que sujeta a la percha muy largo por lo que no es conveniente usarla en pacientes que no puedan sostenerse. También puede incorporar un sistema de bipedestación.

### 2.3. GRÚAS ORTOPÉDICAS DE TECHO FIJAS



Figura3: Grúa ortopédica de techo fija

Grúa de techo de elevación y tracción eléctrica que consta de uno o varios raíles instalados en el techo de la habitación y una percha que se mueve a lo largo de estos raíles accionada por un motor.

El paciente no puede trasladarse junto a la grúa más allá de la longitud del raíl por lo que es necesario el uso de accesorios como sillas de ruedas para poder trasladar al paciente fuera de esta habitación. Por este motivo su instalación se ve limitada a habitaciones de hospitales, baños u hogares en los que los que el paciente no vaya a recuperar movilidad.

Tienen una capacidad de carga de hasta 300 Kg y se maneja mediante un mando eléctrico por lo que un solo cuidador puede manipularla con facilidad.

## 2.4. GRÚAS ORTOPÉDICAS DE TECHO MÓVILES



Figura 4: Grúas ortopédicas de techo móviles

El diseño de esta grúa engloba la movilidad de las grúas con actuadores lineales y la estabilidad y robustez de las grúas de techo.

La elevación del paciente se realiza gracias a un mecanismo de columnas elevadoras situadas a ambos lados del pórtico, que integran un actuador lineal en su interior y este ejerce una fuerza vertical sobre la estructura elevando así al paciente. El traslado horizontal se realiza mediante un raíl por el que se desliza la percha de forma automática o manual.

La grúa consta de ruedas que le permiten trasladarse por la habitación, haciendo posible trasladar al paciente directamente con la grúa o mediante el uso de elementos auxiliares como las sillas de ruedas. El ancho de estas grúas suele oscilar los 3 m de manera que una cama y una silla de ruedas puedan situarse debajo del raíl fácilmente.

Un solo cuidador puede manipular la grúa con facilidad.

## 2.5. GRÚA ORTOPÉDICA PARA USO EN PISCINAS Y BAÑERAS



Figura 5: Grúa ortopédica para piscinas y bañeras

Grúa específica para piscinas y bañeras que consta de un cuerpo central que puede estar fijo o ser móvil, un brazo y una silla o percha. En el caso de estar fija, esta sujeción puede estar atornillada al suelo, a la pared en el caso de un baño o ambos.

Una de las diferencias principales con otras grúas ortopédicas es que consta de una silla en posición vertical en vez de un arnés y el brazo que sujeta esta silla es más largo para permitir acceso al agua desde una zona segura en el bordillo.

El mecanismo principal suele ser un actuador lineal o una columna eléctrica y ha de proporcionar una gran robustez que permita que el brazo tenga mayor longitud.

Puede soportar una carga de hasta 300 kg y es fácilmente operable mediante una sola persona.

### 3. DEFINICIÓN DE LAS GRÚAS ORTOPÉDICAS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS Y PARTICULARIDADES

Cada una de las tres grúas que se han diseñado y analizado realiza su función con un mecanismo diferente a las otras dos. La primera es una grúa ortopédica móvil de elevación y traslado accionada mediante un actuador lineal, la segunda es una grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con columna eléctrica y por último una grúa ortopédica de techo móvil.

##### 3.1.1. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con actuador lineal



Figura 6: Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con actuador lineal

En la primera grúa tenemos un cilindro que se encuentra sujeto al pilar mediante pasadores y cuyo pistón empuja con una fuerza máxima de 12000 N al brazo superior. Este brazo superior, que en un extremo se conecta al pilar con un pasador, conecta a su vez con la percha que se eleva o desciende de forma siempre vertical. El pilar está anclado a la base que también alberga el mecanismo de cierre que permite abrir o cerrar las patas.

El mecanismo de esta grúa funciona de manera semiautomática, lo que implica que un cuidador será el encargado de posicionar el arnés al paciente y enganchar este en la percha y a continuación mediante un mando situado en el pilar, podrá elevar o bajar la grúa.



Figura 7: Controles para el funcionamiento de la grúa

Para el correcto funcionamiento de esta grúa las patas han de poder abrirse lo suficiente como para poder posicionar una silla de ruedas debajo de la percha y en esta grúa se abren con un ángulo de  $36^\circ$  que es suficiente. La longitud del brazo de la percha también influye en la posibilidad de posicionar la silla de ruedas y es necesario que esta magnitud sea mayor de 500 mm. En este caso esa magnitud es de 1135 mm para posibilitar que a su vez alcance hasta el centro de una cama convencional.

### **3.1.2. Grúa ortopédica de elevación y traslado con columna eléctrica**



Figura 8: ortopédica de elevación y traslado con columna eléctrica

En esta segunda grúa el mecanismo principal está compuesto por una columna vertical en cuyo interior se aloja un tornillo sin fin montado sobre unos ejes que se acoplan al motor. Este tornillo empuja un carro que se encuentra atornillado a una estructura encargada de sostener la percha. Una carcasa envuelve el conjunto de manera que solo se perciba el brazo y la percha deslizándose verticalmente a través de una apertura en ella. Todo el conjunto está anclado a la base que contiene el motor y que a su vez conecta las patas a la estructura. Las patas cuentan con un sistema de cierre que permite moverlas para cerrarlas o abrirlas dándole mayor estabilidad a la estructura.

El mecanismo de esta grúa funciona de manera semiautomática, lo que implica que un cuidador será el encargado de posicionar el arnés al paciente y enganchar este en la percha y a continuación mediante un mando situado en la columna junto con las baterías, podrá elevar o bajar la grúa.

Como el uso que se le da a esta grúa es para personas que no están totalmente impedidas no es necesario un brazo que tenga que llegar hasta la mitad de una cama, basta con poder situar debajo de la percha una silla de ruedas o llegar hasta el borde de la cama. El brazo diseñado tiene una longitud de 500 mm.

### **3.1.3. Grúa ortopédica de elevación techo móvil.**



Figura 9: Grúa ortopédica de elevación techo móvil.

El mecanismo principal de esta tercera grúa consiste en dos columnas elevadoras que hacen que un raíl que contiene a la percha se desplace verticalmente.



La grúa consta de dos pilares soldados a su respectiva pata de manera que la distancia entre los dos sea la suficiente como para que puedan abarcar una cama y una silla de ruedas. La medida elegida para este diseño han sido 3m. En cada uno de los pilares está soldada una columna elevadora que encierra en su interior un actuador lineal de modo que cuando el pistón se eleva o desciende lo hace a su vez la columna que se repliega en sí misma al descender. La altura en conjunto de las columnas, patas y pilares ha de ser suficiente para poder elevar a una persona desde una silla o desde una cama. En este diseño se ha optado por una altura de 1700 m. Sobre estas dos columnas mencionadas se sitúa el raíl horizontal por el que desplaza un eje con dos rodamientos que permite trasladar la percha a lo largo del raíl. La percha y el eje se conectan mediante un pasador.

El mecanismo de esta grúa funciona de manera semiautomática, lo que implica que un cuidador será el encargado de posicionar el arnés al paciente y enganchar este en la percha y a continuación podrá manejar los controles de manera que las columnas se expandan o plieguen para elevar la percha. Una vez elevada la percha el cuidador será el encargado de trasladar por el carril al paciente hasta la posición deseada.

#### 3.1.4 Arnés



Figura 10: Arnés para grúa ortopédica

Todas las grúas ortopédicas que se han diseñado y estudiado para este proyecto hacen uso de un arnés específico para estas grúas. Los arneses están hechos de telas resistentes y compuestos plásticos que ayudan a mejorar la resistencia de la misma.

El paciente ha de situarse en el centro del arnés y este le envuelve de manera que pueda elevar a la persona sin riesgo para ella. Constan de unas correas que mejoran la resistencia del arnés y se enganchan a la percha en las zonas especificadas para ello.

### 3.2. COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS GRÚAS

#### 3.2.1 Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con actuador lineal

##### 3.2.1.1 Cilindro.



Figura 11: cilindro

Cilindro encargado de llevar a cabo el movimiento de rotación del mástil respecto a la columna principal. Dicho cilindro dispone de una carrera pequeña pero suficiente para poder realizar su función. Sus características principales son:

Carrera [mm]:	400
Fuerza máx. [N]:	12000

#### 3.2.1.2. Brazo



Figura 12: Brazo de la grúa

Es una de las piezas más importantes ya que es la encargada de elevar la percha. Formada por un perfil de acero curvado. Es la pieza encargada de soportar las fuerzas del cilindro y el peso de la persona que esté siendo elevada.

La unión entre la percha y el brazo se realiza con un pasador permitiendo a la percha que siempre se encuentre en posición vertical mientras el brazo gira. La unión entre el brazo y el pilar se realiza con un perno para permitir el giro de este respecto al pilar. La unión del cilindro y el pistón se realiza mediante un pasador y es en esta unión donde se ejerce la fuerza del cilindro.

#### 3.2.1.3. Pilar



Figura 13: Pilar de la grúa

Pieza de unión entre la base y el brazo. En él se localizan los cuadros de control eléctricos para manipular el cilindro de la grúa y las baterías, además de unas asas para que el cuidador pueda transportar la grúa. Es un perfil cuadrado.

Se une a la base encajándolo y soldándolo. Tiene una inclinación que permite posicionar al paciente de manera más ergonómica. El pilar se une por la parte inferior del cilindro a este mediante un pasador.

#### 3.2.1.4. Base



Figura 14: Base de la grúa

Pieza que sirve de unión entre el pilar y las patas. En ella también se localiza el mecanismo de cierre de las patas. Se une a las patas mediante un perno cada una que le permite girar u casquillos de ajuste.

Está formada de acero.

#### 3.2.1.5. Patas



Figura 15: Patas de la grúa

Las patas proporcionan estabilidad al conjunto. Están formadas por perfiles rectangulares de acero. Pueden girar respecto del eje de unión con la base para proporcionar estabilidad, además gracias a unas ruedas situadas a ambos extremos de las patas hacen que toda la estructura pueda trasladarse.

Su longitud total es de 1099 mm.

#### 3.1.2.6. Percha



Figura 16: Percha de la grúa

Elemento de acero que se une al mástil y consta de dos ganchos en los extremos donde ha de colocarse el arnés. Soporta los esfuerzos producidos por el peso de la persona y debido a esto siempre está en posición vertical.

### **3.2.2. Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con columna eléctrica.**

#### 3.2.2.1 Percha



Figura 17: Percha de grúa ortopédica

Pieza de acero que tiene la función de sustentar el arnés en el que se posiciona al paciente. Se une al brazo mediante un perno de cabeza hexagonal para que la unión sea rígida y no gire al elevarle.

Costa de dos mangos o asas que facilitan al paciente un mayor agarre y le dan sensación de seguridad ya que cuando este se eleva a una persona, esta tiende a sujetarse en alguna parte de la grúa. Estos mangos suelen llevar una carcasa plástica.

#### **3.2.2.2 Brazo**



Figura 18: Brazo de grúa ortopédica

Es uno de los elementos más importantes que conforman esta grúa ya que soporta mayoritariamente la carga de la persona y tiende a sufrir deformaciones.

Está formado por varios perfiles circulares de acero y unida mediante un pasador a un soporte que sirve de pieza de unión entre el carro unido al tornillo y el conjunto de mástil-pieza.

#### 3.2.2.3 Columna

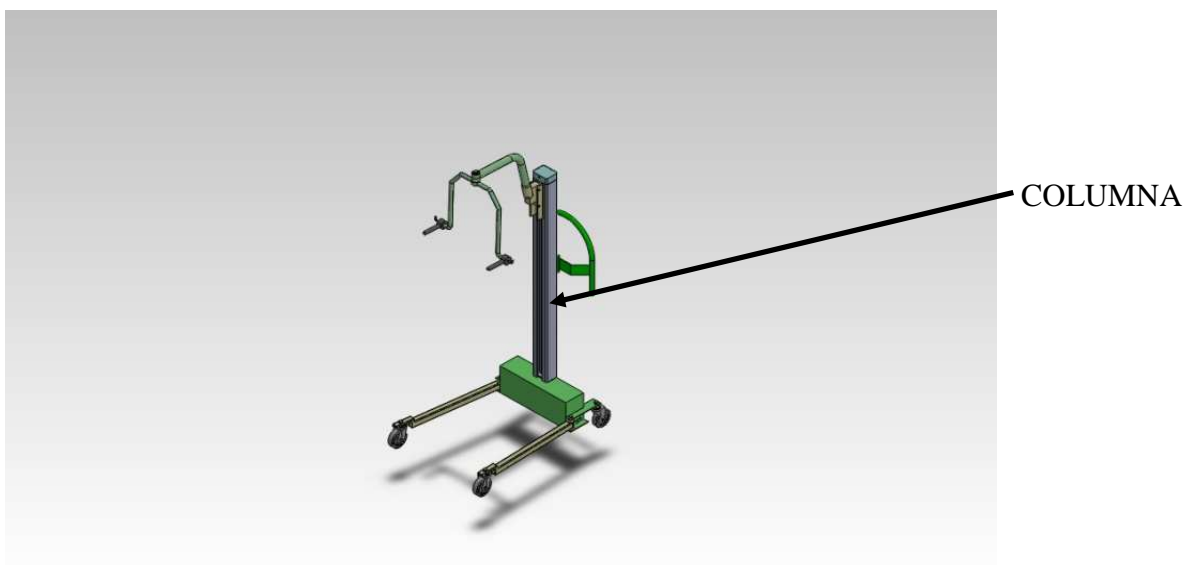


Figura 19: Columna de grúa ortopédica

Esta es sin lugar a duda la pieza más importante de este diseño. Los elementos que forman la columna son:

- Un tornillo sin fin de extremo a extremo de la columna que es el encargado de transmitir las fuerzas verticales al carro
- Una base que es la estructura que sostiene al tornillo en la posición vertical. Consta de un perfil en forma de C y un par de raíles por los que deslizará el carro.
- Un carro que unido al tornillo se eleva o desciende según la dirección en la que gire este.
- Por último se le coloca una carcasa para que las piezas internas del mecanismo no interfieran con nada del exterior.

Todas las piezas que conforman la columna están hechas de acero. Está unida a la base mediante una soldadura.

Características del tornillo:

Métrica (mm)	16
Paso (mm)	5

#### 3.2.2.4 Base



Figura 20: Base de grúa ortopédica



Elemento de acero que sirve de soporte y unión de la columna y las patas. En su interior se encuentra el motor que transmite el giro al tornillo sin fin y un mecanismo de cierre para las patas.

Para la unión de la base y las patas se utilizan unos pasadores que permitirán el giro de estas cuando sea necesario. Para esta unión se han diseñado unos salientes a ambos lados de la caja en los que también irán instaladas las ruedas traseras.

#### 3.2.2.5 Patas



Figura 21: Patas de grúa ortopédica

Estas patas están creadas mediante perfiles cuadrados de acero y son las encargadas de estabilizar la estructura y de permitir gracias a las ruedas trasladar el conjunto.

### 3.2.3. Grúa ortopédica de techo móvil

#### 3.2.3.1 Patas

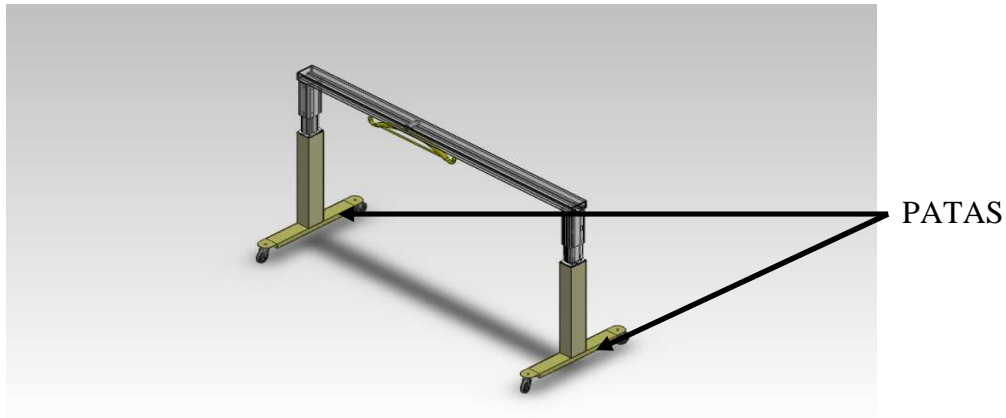


Figura 22: Patas de grúa ortopédica de techo

Piezas de acero cuya función es la de sustentar a la estructura. Creadas a partir de in perfil rectangular de acero. Han de tener el mismo ancho que el pilar para permitir que este se asiente completamente.

Gracias a un par de ruedas por pata, la estructura es capaz de desplazarse.

#### 3.2.3.2. Pilares

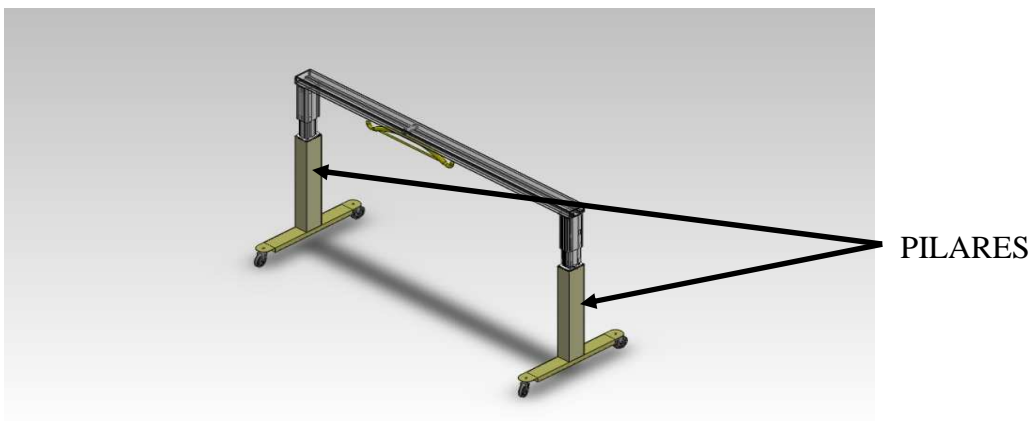


Figura 23: Pilares de grúa ortopédica de techo

Perfiles cuadrados de acero de 1 m de longitud que proporcionan al pórtico la altura necesaria para el correcto funcionamiento de la grúa. Se unen con las patas mediante una soldadura y a las columnas elevadoras mediante una placa situada en la base de estas mediante soldadura. La dimensión de estos pilares viene dada por la dimensión de las columnas elevadoras.

#### 3.2.3.3 Columnas elevadoras

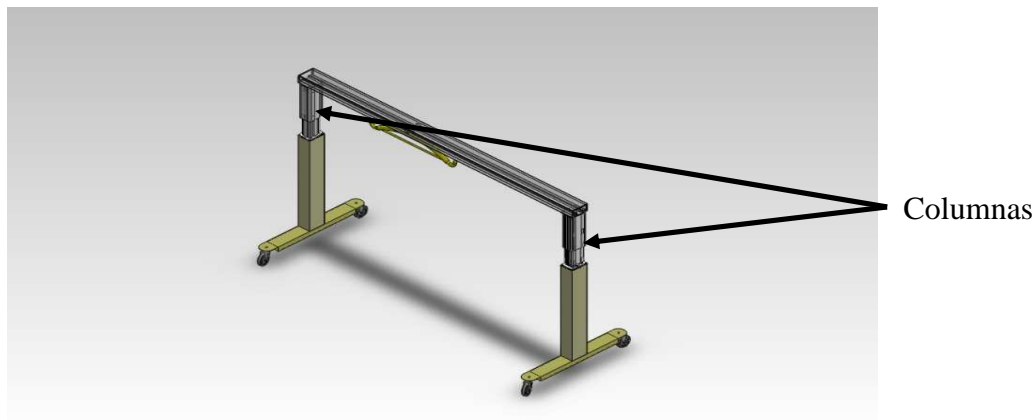


Figura 24: Columnas de grúa ortopédica de techo

Las columnas elevadoras son el elemento más importante de esta grúa. Constan de un actuador lineal que empuja a la columna inferior y esta a su vez a las superiores para elevar todo el conjunto. Se unen al resto de la estructura atornillándolas a unas placas superior e inferior y estas a su vez son soldadas a la estructura.

Características de las columnas:

Carrera (mm)	750
Fuerza (N)	2000
Velocidad (mm/s)	19

#### 3.2.3.4 Raíl

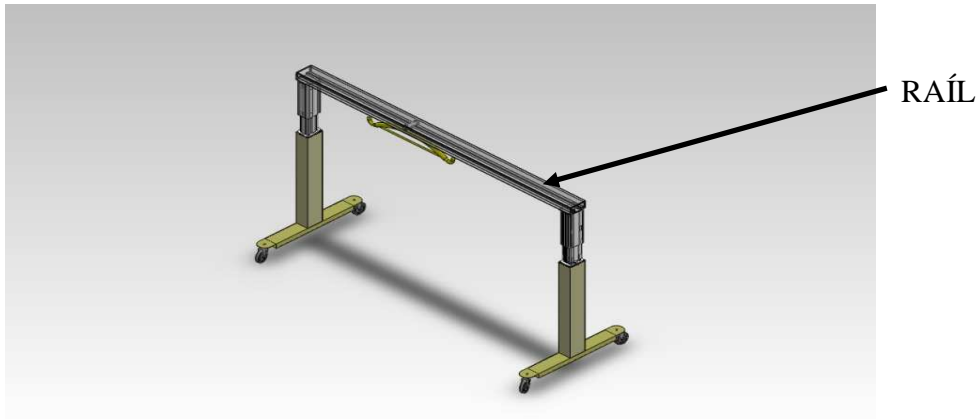


Figura 25: Raíl de grúa ortopédica de techo

Perfil de acero que se coloca en posición vertical y se une mediante soldadura a las placas superiores de las columnas. Por este raíl desliza un eje acoplado a dos rodamientos que a su vez se une a la percha para poder trasladar al paciente a lo largo del pórtico. Es el elemento que más esfuerzos recibe.

#### 3.2.3.5 Percha

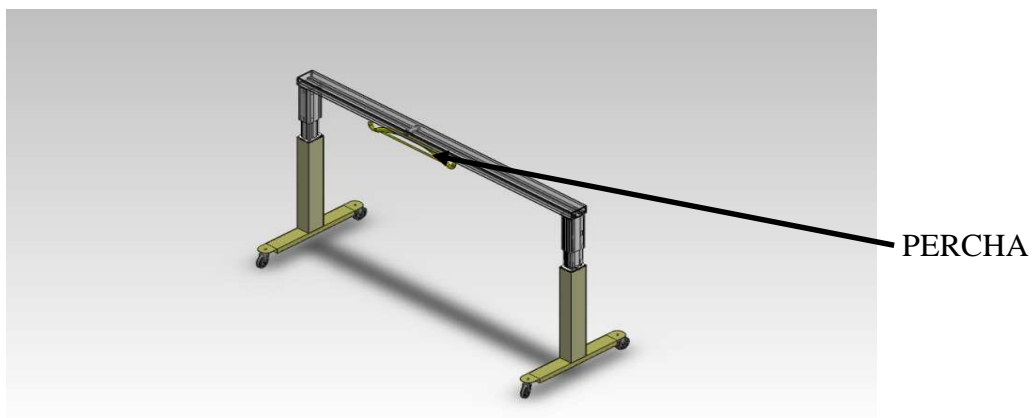


Figura 26: Percha de grúa ortopédica de techo

Pieza de acero formada por tubos cilíndricos que se une al eje del raíl mediante un pasador. De los extremos de la percha se cuelga el arnés que soporta a la persona.

### 3.3. MECANISMO DE CIERRE

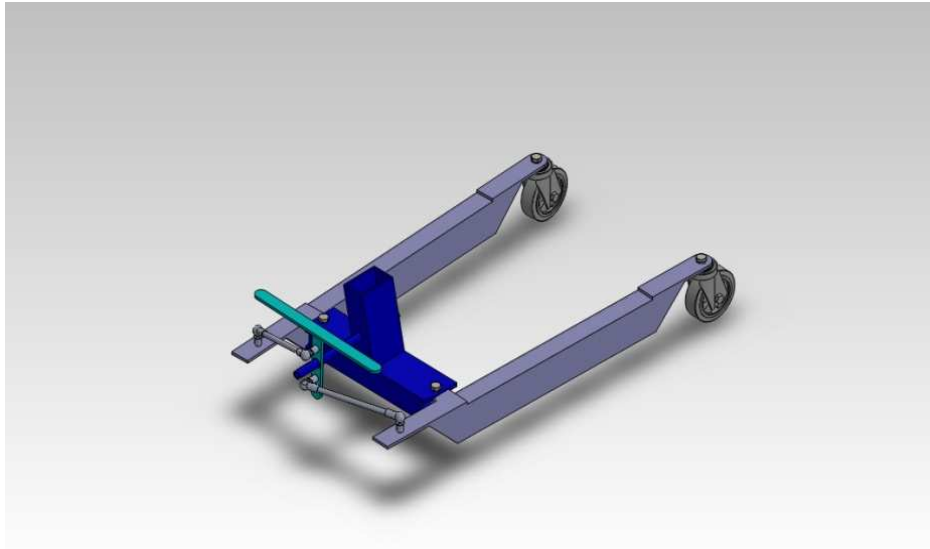


Figura 27: Mecanismo de cierre de las patas

Las dos primeras grúas que se analizan en este proyecto están equipadas con un mecanismo de cierre para posibilitar la apertura o cerradura de las patas.

Este mecanismo está formado por dos varillas rígidas de acero que se conectan cada una a un par de articulaciones angulares con cabeza de rótula. Dos de las articulaciones están atornilladas a las patas mientras que las otras dos restantes lo están a una pieza de acero con forma de T. La pieza con forma de T se une a la base mediante un eje que sobresale de esta y es concéntrico con un orificio de la pieza.

Su forma de uso es manual, es decir no influyen sistemas eléctricos que giren el conjunto, si no que el operario de la máquina al ejercer fuerza con el pie en uno de los extremos de la pieza central esta mueve el mecanismo de modo que las patas se abran y al ejercer fuerza con el pie en el otro extremo estas se cierran.

### 3.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TRES GRUAS

#### **3.4.1 Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con actuador lineal.**

<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>1099 x 495</b>
<b>Altura mínima (mm)</b>	<b>1000</b>
<b>Altura máxima (mm)</b>	<b>1800</b>
<b>Carrera (mm)</b>	<b>800</b>

#### **3.4.2 Grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con columna eléctrica.**

<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>1060 x 633</b>
<b>Altura mínima (mm)</b>	<b>560</b>
<b>Altura máxima (mm)</b>	<b>2035</b>
<b>Carrera (mm)</b>	<b>1475</b>

#### **3.4.3 Grúa ortopédica de techo móvil.**

<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>3000 x 164</b>
<b>Altura mínima (mm)</b>	<b>1529</b>
<b>Altura máxima (mm)</b>	<b>1879</b>
<b>Carrera (mm)</b>	<b>350</b>

## 4. ASPECTOS PREVIOS AL ANÁLISIS

### 4.1. DIMENSIONADO

Para hacer un correcto dimensionado de las grúas en el caso de partir de cero, se realizaría un croquis de las grúas y a continuación se haría un dimensionado analítico sencillo de las partes principales para obtener longitudes y espesores desde los que empezar a simular y optimizar.

En este caso se obtuvieron las dimensiones de forma diferente para cada grúa. Para la primera grúa diseñada que contaba con un actuador lineal, partí de unos planos de la misma proporcionados por el área de diseño y fabricación de la Universidad de Zaragoza de una grúa existente.

Para el dimensionamiento de la grúa ortopédica con columna eléctrica, pude acceder a las instalaciones de la residencia de ancianos San Lázaro en Calahorra, La Rioja, donde manipulé, observé y medí una grúa de estas características. Con esta información y con los manuales de uso y prestaciones de la máquina obtuve los planos aproximados desde los que partir en la simulación.



Figura 28: Algunas fotos tomadas en la residencia San Lázaro

Por último para la grúa de techo móvil, partí del catálogo de columnas elevadoras de Thomson Linear y con las dimensiones de esta croquicé el resto de la grúa ayudándome de las dimensiones y espesores usados en las dos grúas previas para los perfiles usados.

## 4.2. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

En este apartado vamos a llevar a cabo la simulación del ensamblaje con las partes que intervienen en el cálculo estático. Para ello haremos uso de la herramienta Simulation que lleva incorporado el programa SolidWorks y que utiliza el MEF (método de elementos finitos) para la resolución de los cálculos.

El MEF es un método numérico empleado en la resolución de ecuaciones diferenciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería como análisis de tensiones o cálculo de desplazamientos. El método se basa en dividir el cuerpo o geometría a estudiar en múltiples partes de pequeño tamaño denominados “Elementos”. Los elementos comparten entre ellos puntos comunes de intersección denominados “Nodos”.

Para realizar los cálculos se suponen las siguientes hipótesis de trabajo:

### Suposición de linealidad

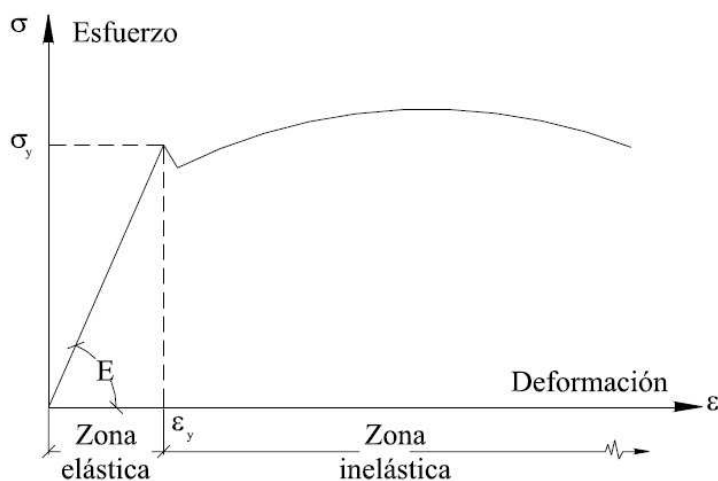


Figura 29: Gráfica de la linealidad de un material sometido a una carga

La gráfica de la figura nos muestra como un material se deforma por la acción de una carga. En el primer tramo de la gráfica está la zona elástica en la que el material se deforma de manera lineal conforme aumentamos la tensión. En esta zona se cumple por que el módulo de Young ( $E$ ) es igual a la pendiente de la recta. Esta linealidad en la deformación se cumple hasta que llegamos al límite de fluencia en el que el material pasa de ser elástico a plástico y conforme elevamos la carga permanece así hasta su rotura.

### Suposición estática

Dado que el estudio a realizar es estático la estructura de las grúas deberán soportar las cargas y deformarse muy lentamente.



## 5. MODELADO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TRES GRÚAS.

### 5.1. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL DE ELEVACIÓN Y TRASLADO CON ACTUADOR LINEAL.

#### 5.1.1. Hipótesis de trabajo.

##### 5.1.1.1. Cálculo de la posición más desfavorable

El estudio que se va a realizar es un cálculo estático de la estructura de la grúa. Para hallar la posición más desfavorable resistientemente de la estructura, estudiamos una versión simplificada de las partes más importantes y hallamos los esfuerzos y momentos a los que está sometida para varias posiciones del brazo.

Diagrama de sólido libre con brazo en la posición más elevada:

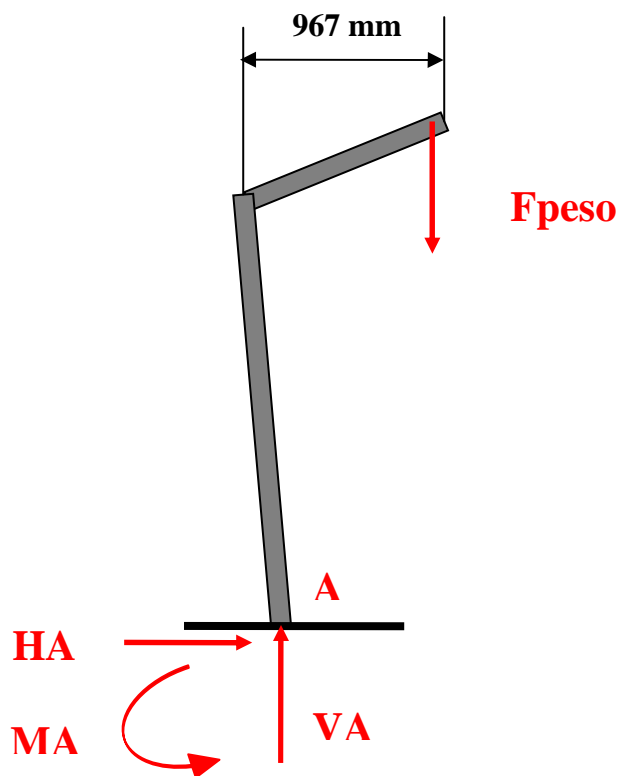


Figura 30: Diagrama de sólido libre posición elevada

Realizamos el equilibrio global de la estructura:

$$(1) \quad \sum MA = 0 \rightarrow -F_{\text{peso}} \cdot 967 + MA = 0$$

$$(2) \quad MA = -F_{\text{peso}} \cdot 967$$

Diagrama de sólido libre con brazo en la posición menos elevada:

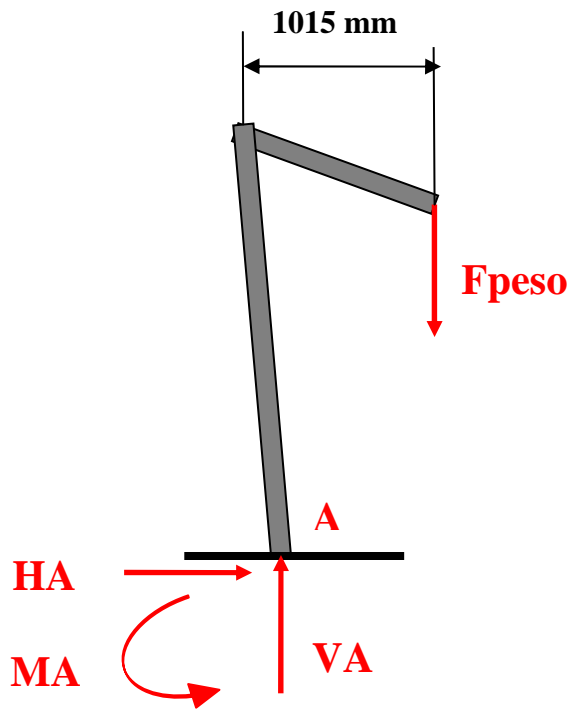


Figura 31: Diagrama de sólido libre posición menos elevada

Realizamos el equilibrio global de la estructura:

$$(3) \quad \sum MA = 0 \rightarrow -F_{\text{peso}} \cdot 1015 + MA = 0$$

$$(4) \quad MA = -F_{\text{peso}} \cdot 1015$$

Diagrama de sólido libre con brazo en la posición brazo horizontal:

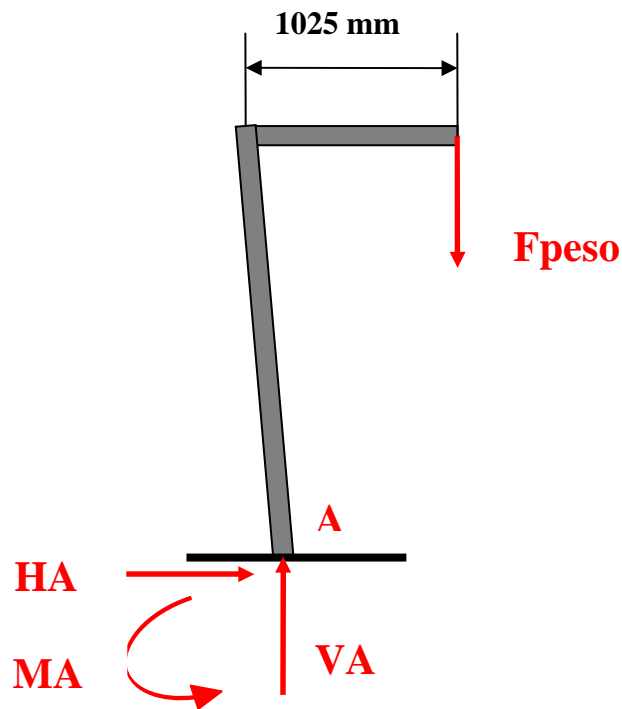


Figura 32: Diagrama de sólido libre posición brazo horizontal

Realizamos el equilibrio global de la estructura:

$$(5) \quad \sum MA = 0 \rightarrow -F_{\text{peso}} \cdot 1025 + MA = 0$$

$$(6) \quad MA = -F_{\text{peso}} \cdot 1025$$

A la vista de las ecuaciones podemos decir que cuanto mayor sea la distancia desde la  $F_{\text{peso}}$  hasta el empotramiento, mayor sea el momento en ese punto. El punto en el que está aplicada la fuerza al final del brazo describe a lo largo de su movimiento una trayectoria circular, luego, la distancia será mayor cuando ésta sea igual al radio de la circunferencia, situación que se da cuando el brazo está en posición horizontal.

Optaremos por realizar el análisis con la posición de brazo horizontal ya que como hemos visto esta produce un mayor momento en el empotramiento y por lo tanto es la posición más desfavorable.

#### 5.1.1.2. Carga a elevar

Para calcular con una carga estándar la estructura se ha elegido un peso de 100 Kg. Este sería en el mercado el peso mínimo de fabricación.

Realizamos el cálculo de la fuerza que ese peso ejerce sobre la percha:

$$(7) \quad F_{\text{peso}} = 100 \cdot 9.8 = 980 \text{ N}$$

Esta fuerza es la que soporta el arnés y que al colocarlo en la percha tenemos que dividirlo entre los dos enganches, luego para el modelo de la simulación aplicaremos en cada enganche la fuerza que llamaremos  $F_{\text{percha}}$

$$(8) \quad F_{\text{percha}} = 980 \div 2 = 490 \text{ N}$$

#### 5.1.1.3. Fuerza del actuador lineal

En el catálogo del fabricante la fuerza máxima que puede ejercer el actuador lineal son 12000 N, pero para el modelo no necesitamos ésta fuerza máxima, por lo que procederemos a calcular cuanta fuerza del actuador lineal es necesaria para elevar la carga.

Diagrama de sólido libre del mástil:

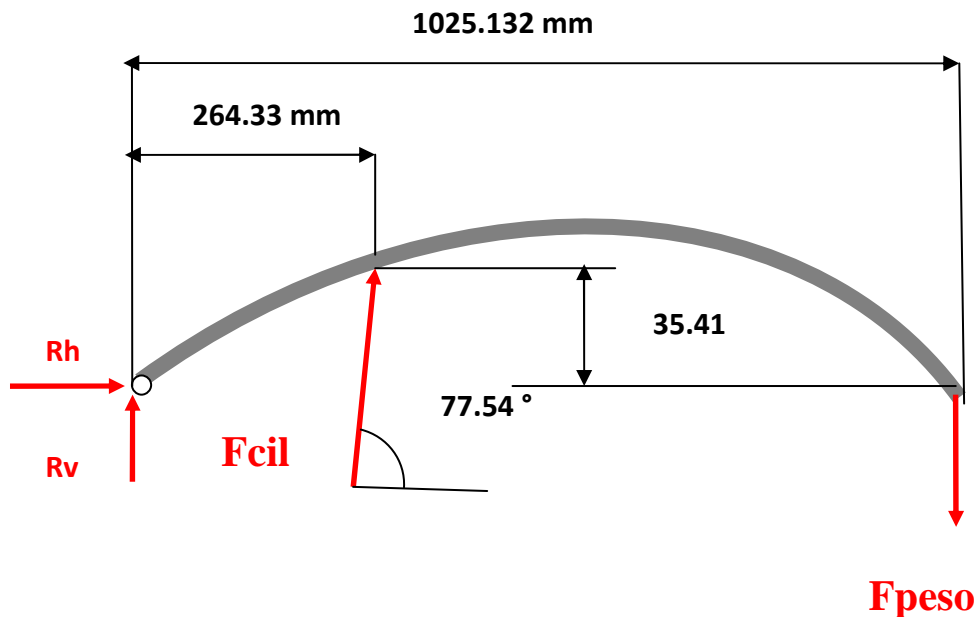


Figura 33: Diagrama de sólido libre brazo

Realizamos el equilibrio de la estructura:

$$(9) \quad \sum M_{rot} = 0 \rightarrow F_{cil} \cdot \sin 77.54 \cdot 264.33 - F_{cil} \cdot \cos 77.54 \cdot 35.41 - 980 \cdot 1025.132 = 0$$

$$(9) \quad F \cdot 250.47 - 1004629.36 = 0 \rightarrow F = 4010.94 \text{ N}$$

Aproximamos la fuerza del actuador a 4011 N. Esta es la fuerza necesaria para elevar la carga de 100 Kg.

### 5.1.2. Modelado en 3D.

El proceso de modelado se ha realizado mediante un programa de modelado 3D denominado SolidWorks. Este programa permite diseñar piezas y estructuras conociendo las dimensiones de las mismas previamente y dibujarlas directamente en

3D. El programa también crea ensamblajes de las piezas para formar una estructura más compleja y te permite añadirle los conectores desde una base de datos.

SolidWorks gracias a su aplicación Simulation, permite realizar los cálculos necesarios con una amplia gama de posibilidades, pero nosotros haremos uso de la herramienta que permite realizar los cálculos estáticos para la estructura.

A continuación se muestran las piezas modeladas que son necesarias para los cálculos posteriores.

#### 5.1.2.1. Brazo

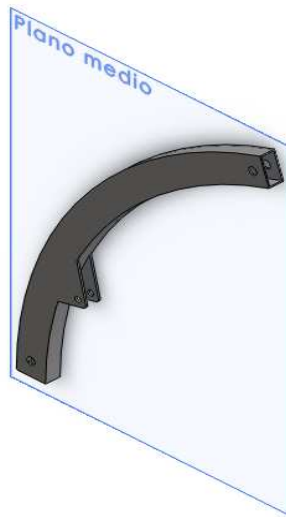


Figura 34: Brazo modelado con SolidWorks

Pieza sencilla compuesta por un perfil cuadrado hueco que ha sido extruido y al que se le ha dado una curvatura. Se le han añadido dos salientes que son los encargados de sujetar al actuador lineal por la parte superior de este. Por último consta de unos orificios para colocar los pasadores.

#### 5.1.2.2. Pilar

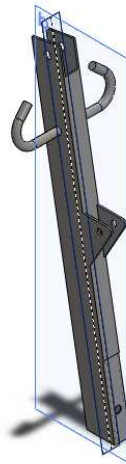


Figura 35: Pilar modelado con SolidWorks

Consta al igual que el brazo de un perfil rectangular hueco obtenido por extrusión al que se le da una inclinación. Es una pieza sencilla a la que se le acoplan unos salientes que sujetarán al actuador por la parte inferior y unas asas obtenidas mediante saliente barrido. Por último se extruyen por corte los orificios para los pasadores.

#### 5.1.2.3. Base

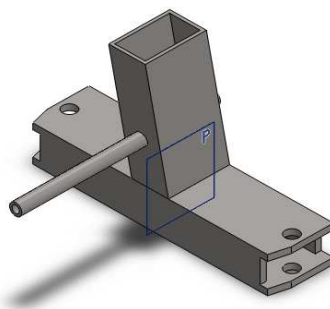


Figura 36: Base modelada con SolidWorks

Esa pieza está compuesta por dos perfiles rectangulares huecos unidos perpendicularmente obtenidos mediante extrusión. La parte más compleja de este

modelado es posicionar el croquis para el tubo que cruza transversalmente al perfil superior para posteriormente extruirlo. Por último, mediante una extrusión por corte perforamos los orificios de los pasadores y los cortes en el perfil inferior.

#### 5.1.2.4. Percha

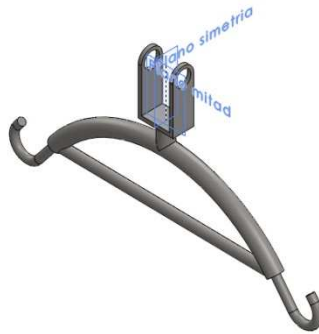


Figura 37: Percha modelada con SolidWorks

Pieza relativamente sencilla creada a partir de un perfil circular curvado dibujado por extrusión con un perfil circular inferior y dos ganchos creados de manera similar. En la parte superior del arco encontramos un cilindro acoplado verticalmente que sirve de unión al perfil con forma de C de la parte superior.

#### 5.1.2.5. Patas

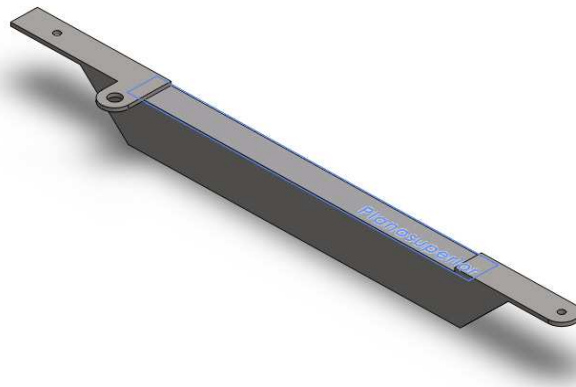


Figura 38: Pata derecha modelada con SolidWorks



Uno de los elementos más sencillos para el modelado consistente en un perfil rectangular hueco creado mediante extrusión al que se le van añadiendo diversas partes. Primero se hace una extrusión por corte para crear la inclinación de los laterales y a continuación se crean los dos salientes superiores. Por último se perforan los orificios para los pasadores.

Las patas izquierda y derecha son simétricas.

#### 5.1.2.6. Ensamblaje para cálculo

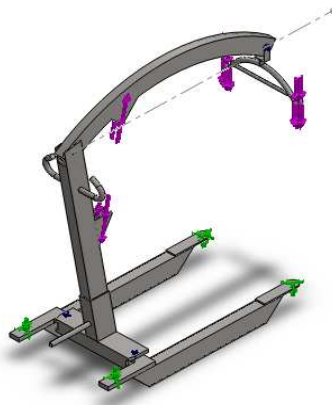


Figura 39: Ensamblaje modelado con SolidWorks

#### 5.1.3 Análisis con las patas de la grúa en posición cerrada

##### **5.1.3.1. Materiales**

El primer paso para realizar el análisis es definir el material de las piezas a calcular. Toda la estructura es formada por perfiles de acero así que daremos a todos el mismo material, que en este caso es un acero para estructuras DIN 1.0044 (S275JR) con las siguientes características:

Nombre:	1.0044 (S275JR)
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
Límite elástico:	2.75e+008 N/m <sup>2</sup>
Límite de tracción:	5.00826e+008 N/m <sup>2</sup>
Módulo elástico:	2.1e+011 N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson:	0.28
Densidad:	7800 kg/m <sup>3</sup>
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de dilatación térmica:	1.1e-005 /Kelvin

#### 5.1.3.2. Sujeciones

En la realidad las patas de la grúa están unidas a unas ruedas y estas pueden girar permitiendo a la grúa desplazarse. Para realizar los cálculos estáticos eliminamos las ruedas y posicionamos las sujeciones en las caras cilíndricas que serían los orificios para los pasadores de unión a las ruedas.

Por lo tanto la sujeción se realiza sobre estas caras cilíndricas bloqueando el desplazamiento en los ejes X e Y pero permitiendo el giro en Z.

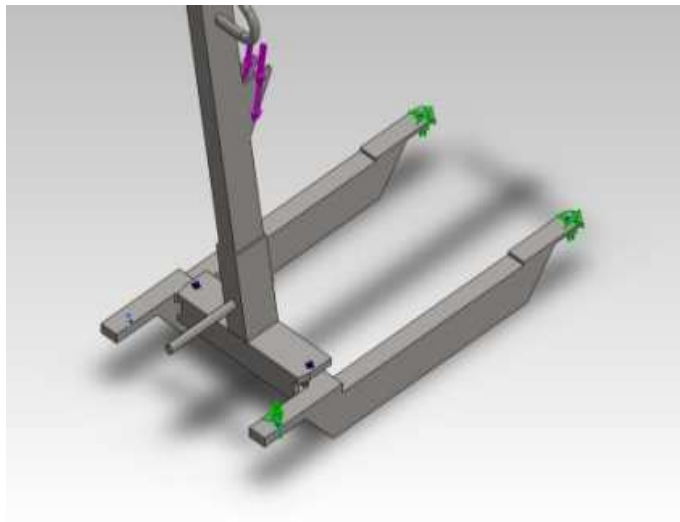


Figura 40: Sujeciones patas cerradas

#### 5.1.3.3. Cargas externas

Tenemos dos cargas que aplicar, por un lado el peso de la persona en los extremos de la percha y por otro lado la fuerza que ejerce el actuador sobre el pilar y el brazo.

La fuerza del peso de la persona son 980 N que divididos entre los dos ganchos de la percha son 490 N cada uno. Esta fuerza estará aplicada sobre el cilindro del gancho que está más horizontal en dirección vertical con el sentido de la flecha apuntando hacia el suelo.

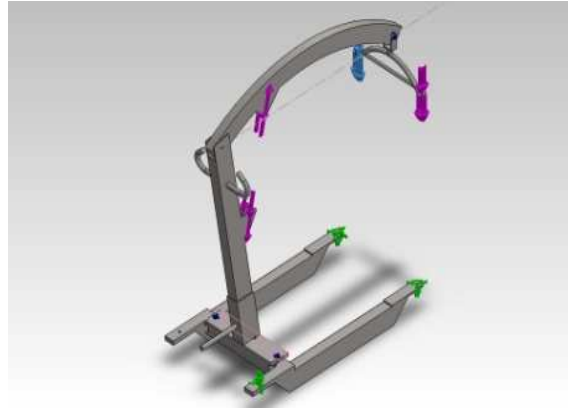


Figura 41: Cargas sobre la percha

La fuerza del actuador lineal es 4011 N en total aplicada en el brazo y el pilar. Como la forma de sujetar el actuador a la estructura es mediante un pasador uniendo los salientes, necesitaremos dividir esta fuerza en 2005.5 N para cada saliente. La carga se aplica en la cara cilíndrica de los orificios del pasador en la dirección del plano que contiene al actuador y en sentido de compresión tanto para el brazo como para el pilar.

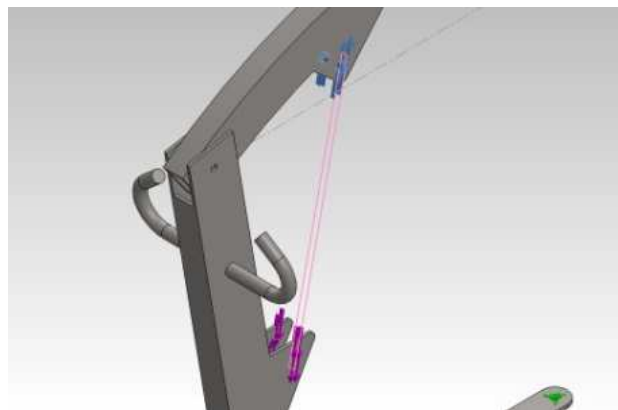


Figura 42: Cargas sobre el brazo y el pilar

#### **5.1.3.4. Definición de los conectores**

Para conectar entre si las piezas que forman este ensamblaje tenemos por un lado los pasadores y por otro lado uniones rígidas entre elementos. Solo se ha definido una unión rígida entre los componentes base y pilar.

#### **Pasadores:**

Todos los pasadores de esta grúa tienen las mismas dimensiones. El material elegido para ellos es un acero aleado con un límite elástico de 620422000 N/m<sup>2</sup>

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot 6^2 = 113.097 \text{ mm}$$

Para editar los pasadores necesarios a la hora de unir dos piezas usaremos dos pasadores en vez de uno para que el programa al calcular los conectores sea lo mismo que calcular uno a doble cortadura.

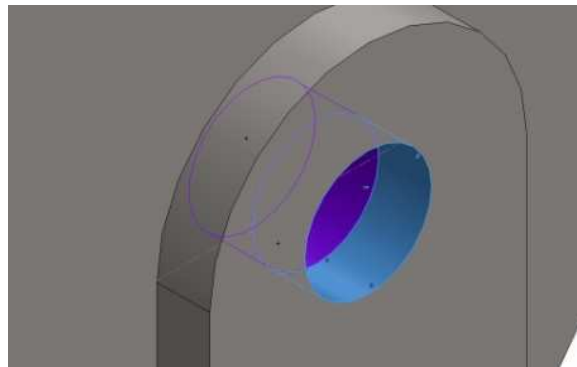


Figura 43: Ejemplo de pasador

En total se han definido 6 conectores de tipo pasador:

- N°1. Conector tipo pasador derecho de unión percha y brazo.
- N°2. Conector tipo pasador izquierdo de unión percha y brazo.
- N°3. Conector tipo pasador derecho de unión brazo y pilar.
- N°4. Conector tipo pasador izquierdo de unión brazo y pilar.
- N°5. Conector tipo pasador de unión pata derecha y base.
- N°6. Conector tipo pasador de unión pata izquierda y base.

#### **5.1.3.5. Mallado**

Una vez establecidas las cargas, sujeciones y conexiones procedemos a realizar el mallado del conjunto. Para ello el programa crea una malla sólida con elementos cuadráticos de alto orden en toda la estructura.



Figura 44: Mallado simulación patas cerradas

#### **5.1.3.1.6. Ejecución.**

Posterior al mallado el programa Solidworks realiza una ejecución en la que calcula tensiones, deformaciones, desplazamientos, coeficiente de seguridad y verifica los pasadores. En este primer análisis de la grúa obtendremos la información necesaria para reconocer que áreas necesitan optimizarse.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

## TENSIÓN DE VON MISES:

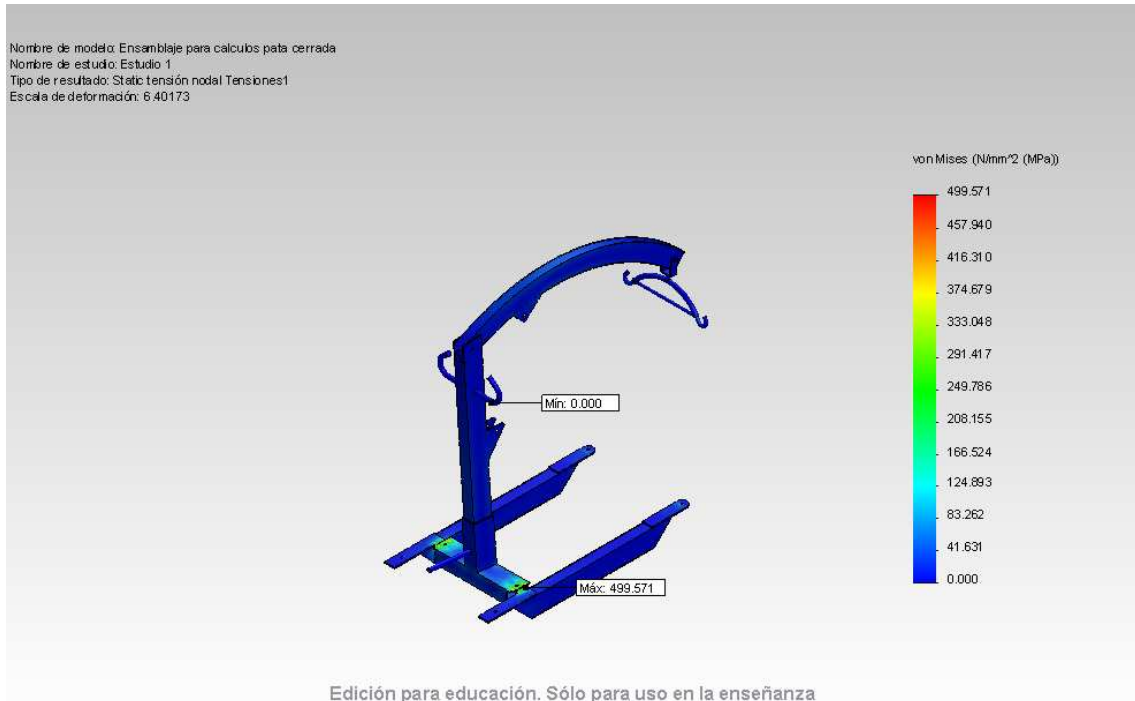


Figura 45: Tensión Von Mises simulación patas cerradas

En primer lugar se muestra el resultado de las tensiones de Von Mises a la que está sometida la grúa, por medio de una gama cromática en la que las zonas rojas-amarillas son a las que más tensión se someten mientras las zonas azules son las que menos.

Como se puede observar en la figura 45 obtenemos tensiones elevadas en la zona de unión de las patas y la base de 499.571 MPa. Esta unión se encuentra sometida a mucha más tensión que el resto de la estructura como podemos ver por el color azul predominante de la misma.

El brazo también tiene una tensión de Von Mises en la cara superior pero de un orden muy pequeño como lo demuestra el color azul claro.

Al igual que el brazo los salientes que sustentan al actuador lineal en la arista de unión con el brazo o con el pilar también están sometidos a una tensión muy pequeña representada en color azul claro.

## DESPLAZAMIENTOS:

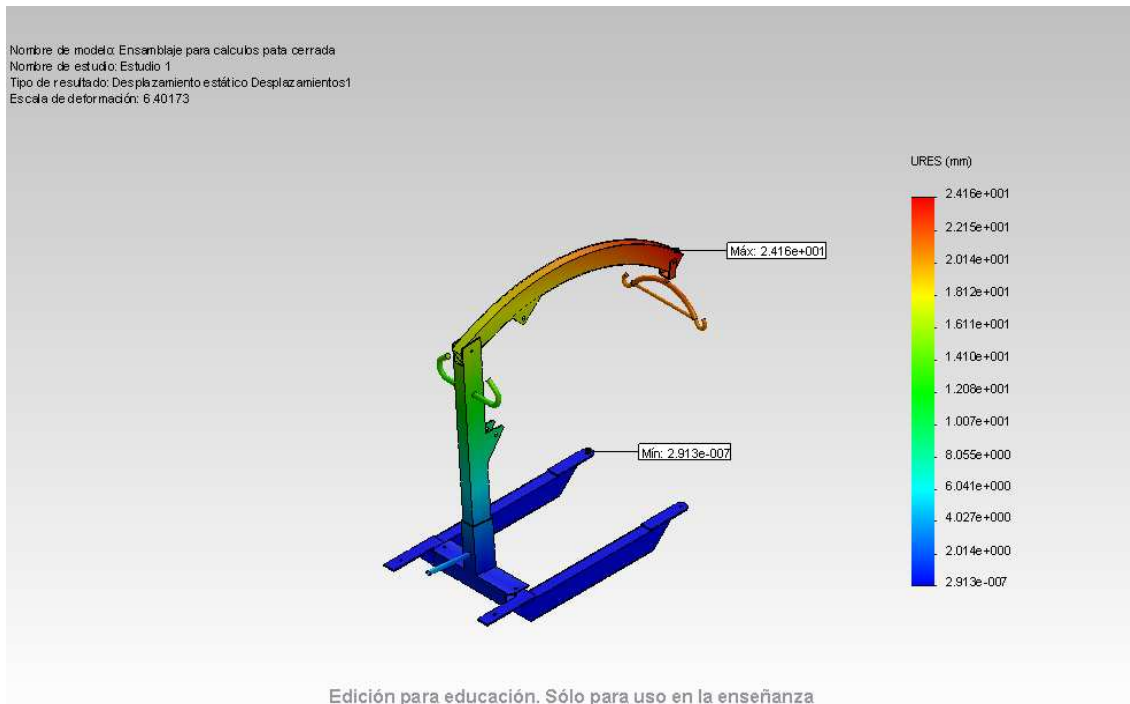


Figura 46: Desplazamientos simulación patas cerradas

Por acción del peso colocado en la percha se genera un desplazamiento que es máximo en la parte final del brazo. Este desplazamiento máximo es de 2.41 mm y se va reduciendo conforme nos alejamos de la percha. Como vemos en la figura 46 el pilar se desplace en menor medida que el pilar y al final de este en la base y las patas esta deformación es casi imperceptible.

## DEFORMACIONES:

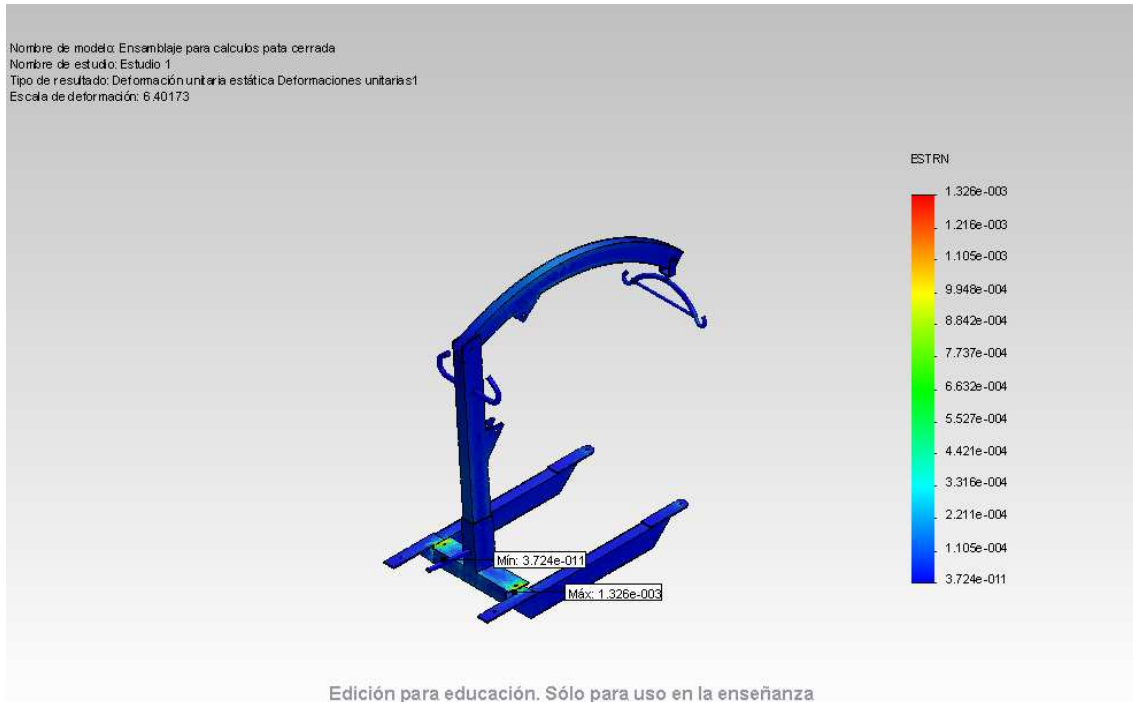


Figura 47: Deformaciones simulación patas cerradas

Las deformaciones máximas se sitúan en la zona de unión de la base y las patas ya que en esa zona como hemos visto anteriormente también estaba sometida a las máximas tensiones. Esta deformación máxima tiene un valor de 0.001326.

También encontramos una deformación mucho menos en las zonas en las que también encontrábamos tensiones pequeñas, estas son la cara superior del brazo y los salientes que unen el actuador con la estructura. Todas estas zonas están representadas de azul claro.



## FACTOR DE SEGURIDAD:

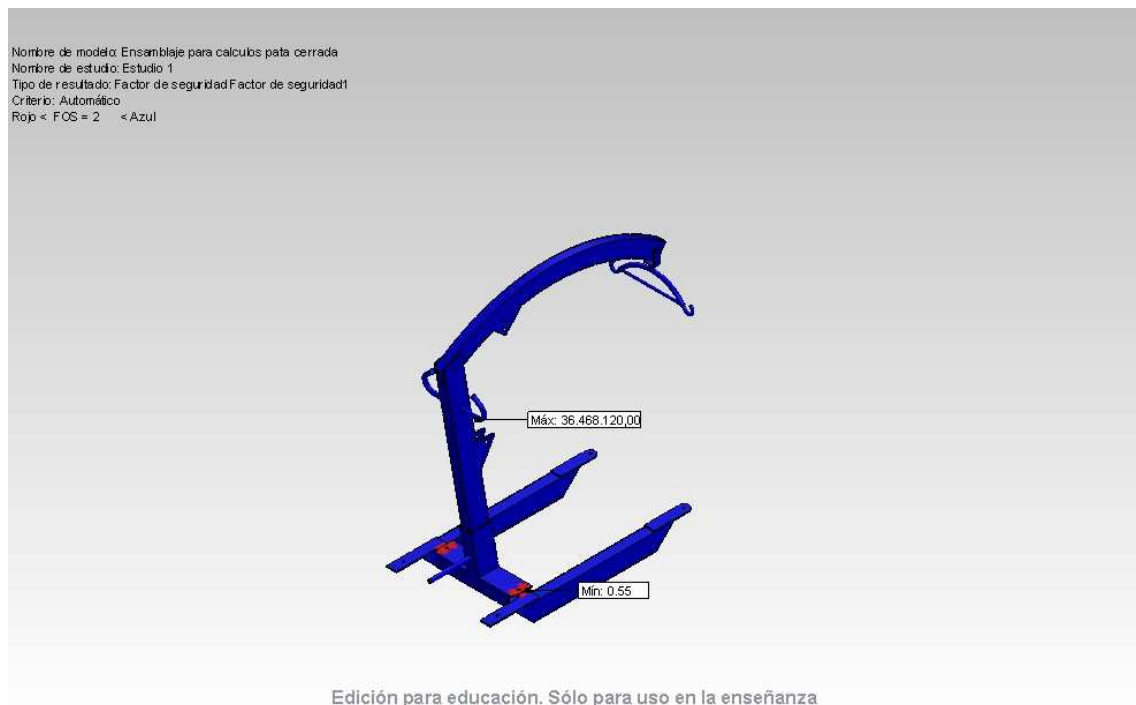


Figura 48: Factor de seguridad simulación patas cerradas

El factor de seguridad mínimo de la estructura es de 0.55 que se da en la zona de unión de las patas y la base. El resto de la estructura tiene un factor de seguridad superior a 5.

La zona de unión de las patas tiene un factor de seguridad mínimo muy bajo ya que en esa zona también se localizan las mayores tensiones.

El factor de seguridad obtenido es demasiado bajo para esta grúa, por lo que más adelante optimizaremos las piezas con la intención de que este valor supere la unidad.

### COMPROBACIÓN DE LOS PASADORES:

CONECTOR	COMPROBACIÓN
Conector tipo pasador nº1	Correcto
Conector tipo pasador nº2	Correcto
Conector tipo pasador nº3	Correcto
Conector tipo pasador nº4	Correcto
Conector tipo pasador nº5	Correcto
Conector tipo pasador nº6	Correcto

Figura 49: Comprobación de los pasadores simulación patas cerradas

Los pasadores se encuentran correctamente definidos y ninguno de ellos necesita atención

#### 5.1.3.2. Resultados de la ejecución con las patas en posición abiertas

## TENSIÓN DE VON MISES:

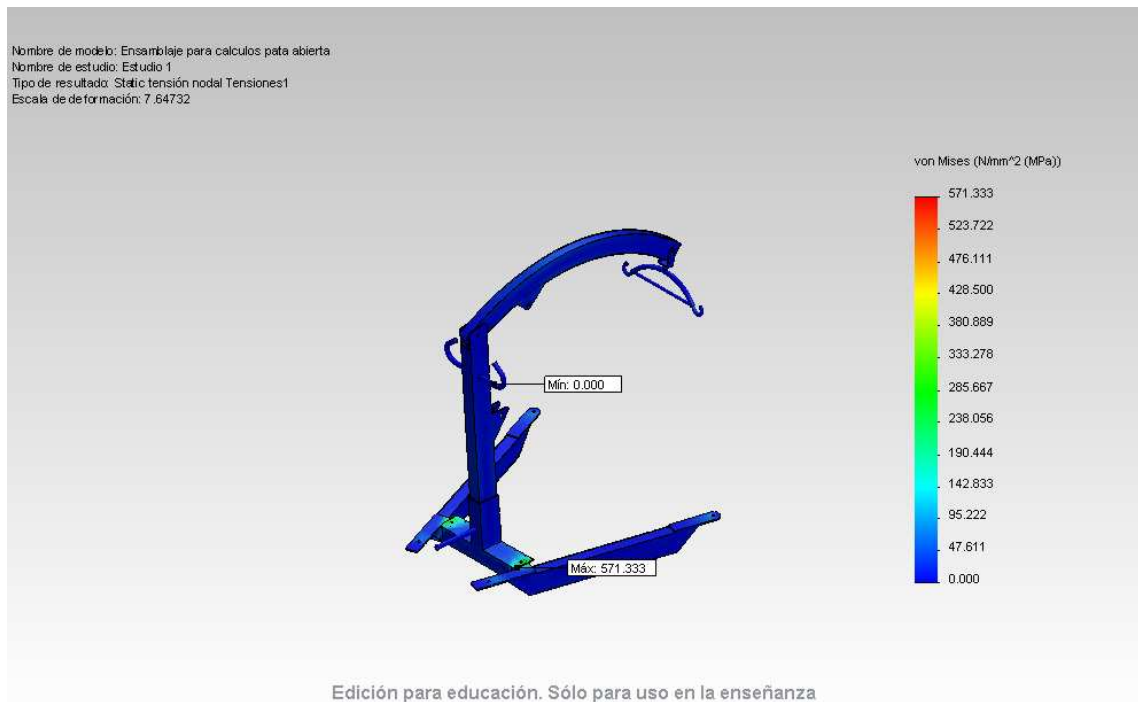


Figura 50: Tensión de Von Mises simulación patas abiertas

El gráfico de la figura 50 nos muestra como las tensiones máximas se obtienen en la zona de unión de la pata y la base con una magnitud de 571.33 Mpa. Son tensiones muy elevadas lo que nos demuestra que esa zona es la más tensionada de la estructura, siendo la tensión en el resto mínima.

Al simular la grúa en la posición de patas abiertas podemos ver que las tensiones se distribuyen de forma similar a las calculadas con las patas abiertas pero estas son mayores, es decir, con las patas abiertas la grúa está sometida a más tensión.

## DESPLAZAMIENTOS

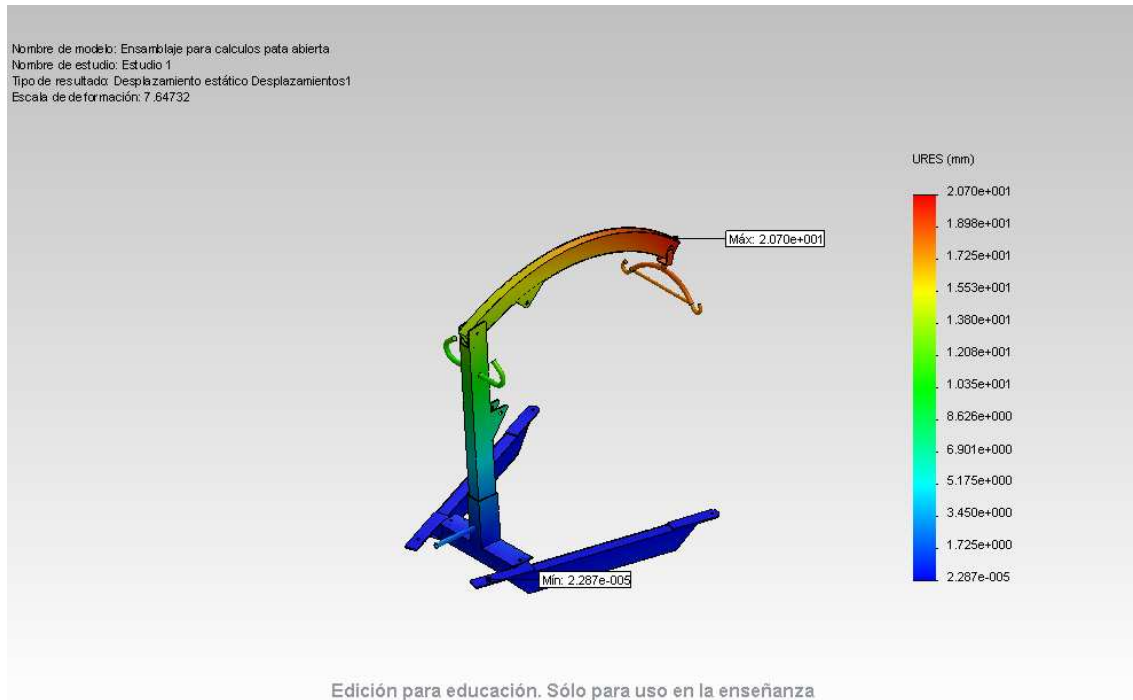


Figura 51: Desplazamientos simulación patas abiertas

El desplazamiento máximo se da en el extremo del brazo más alejado del pilar y es de 2.07 mm. Conforme nos alejamos del extremo del mástil la estructura se deforma cada vez con una magnitud menor hasta llegar a la zona de la base y las patas donde la deformación es imperceptible como vemos en la figura 51 representado de color azul.

Cuando la grúa se encuentra en la posición de patas abiertas, la unión patas y base absorbe más tensión permitiendo que el desplazamiento de la percha en esta simulación sea menor respecto a la simulación con las patas cerradas. Es decir, obtenemos más estabilidad con las patas abiertas.

## DEFORMACIONES:

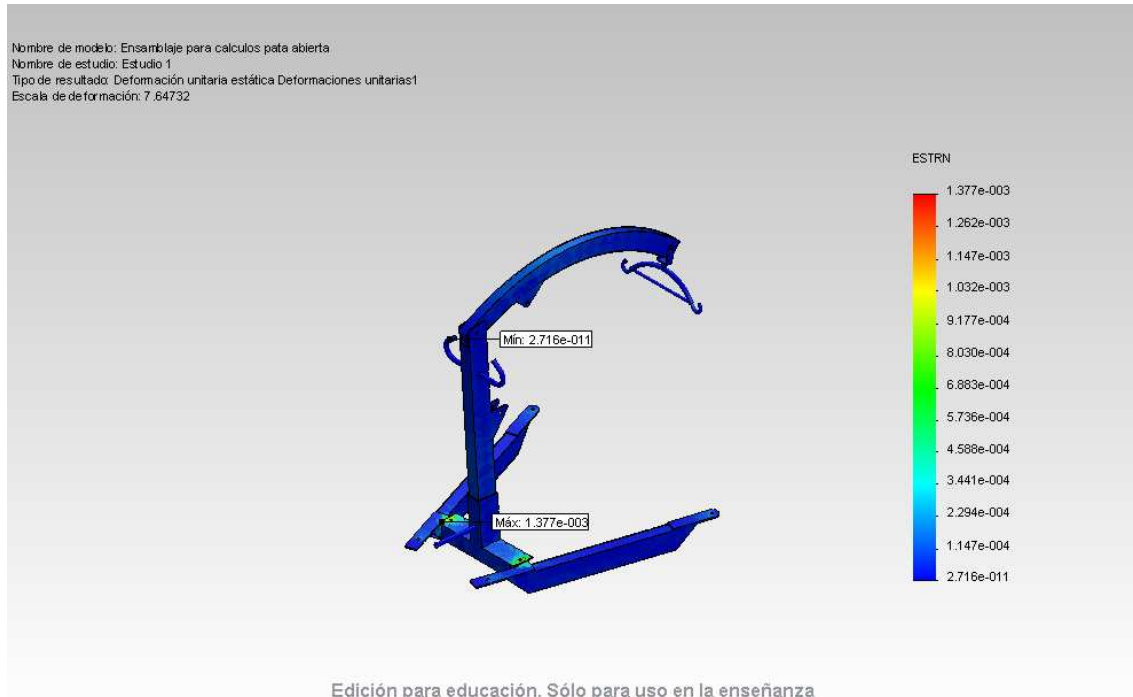


Figura 52: Deformaciones simulación patas abiertas

Como vemos la estructura sufre la máxima deformación entorno a la unión de las patas y la base, que es de 0.001377. La localización de las deformaciones entorno a esa unión es razonable teniendo en cuenta que esa zona también sufre las máximas tensiones.

La cara superior del mástil y los salientes que unen el actuador lineal a la estructura también sufren una ligera deformación con un valor aproximado de 0.0001147 muy por debajo del máximo.

## FACTOR DE SEGURIDAD:

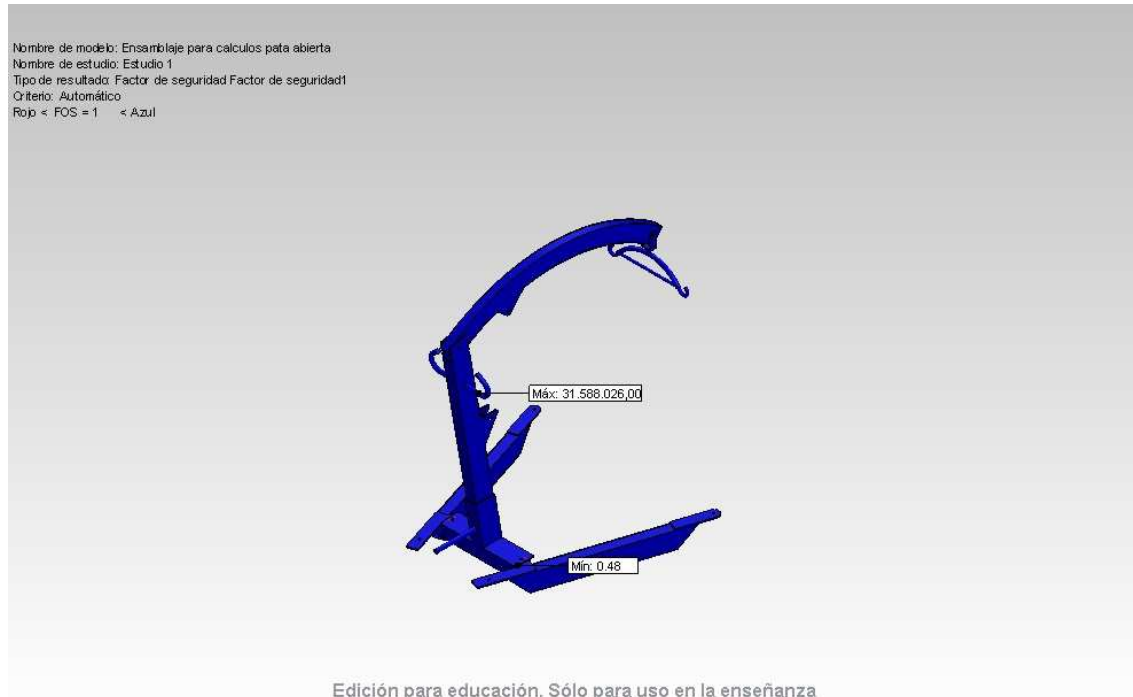


Figura 53: Factor de seguridad simulación patas abiertas

Anteriormente hemos visto en los resultados que las máximas tensiones y deformaciones se daban en la zona de unión de las patas y la base, es por lo tanto lógico que el factor de seguridad mínimo que obtengamos sea en esa zona.

El factor de seguridad mínimo de esta grúa con la posición de patas abiertas es 0.48, mientras que el del resto de las piezas es muy elevado. Este valor obtenido es muy pequeño, por lo que posteriormente realizaremos una optimización de las piezas con la intención de que el valor del factor de seguridad mínimo supere la unidad.

## PESO DEL CONJUNTO:

El peso total de esta grúa sin las ruedas ni el actuador lineal es de 53.36 Kg

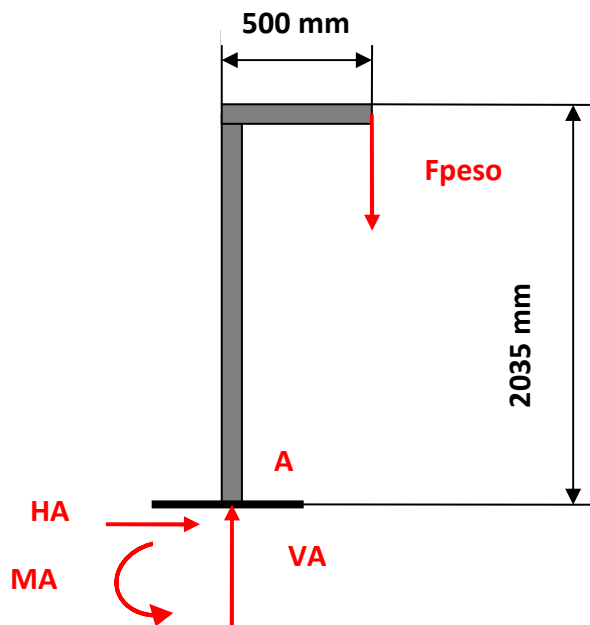
## 5.2. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL DE ELEVACIÓN Y TRASLADO CON COLUMNA ELÉCTRICA.

### 5.2.1. Hipótesis de trabajo.

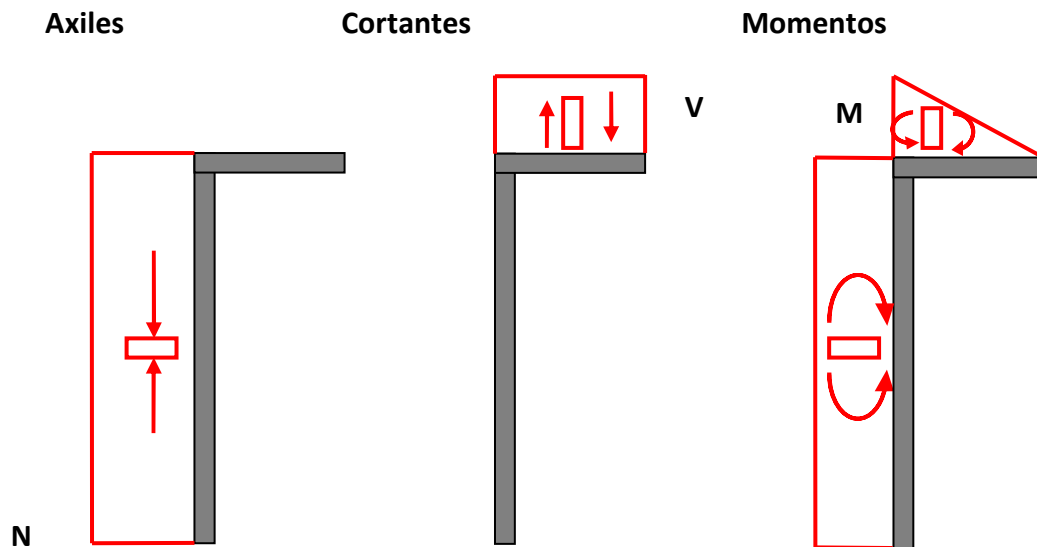
#### 5.2.1.1. Cálculo de la posición más desfavorable.

Para calcular la posición más desfavorable de la grúa a la hora de hacer el cálculo estático, buscaremos los esfuerzos más desfavorables en los diagramas de sólido libre.

Diagrama de sólido libre con la percha en la posición más baja:



. Figura 54: Diagrama de sólido libre



. Figura 55: Diagrama esfuerzos

Para el primer cálculo posicionamos el brazo de la grúa en su posición más elevada como vemos en la figura 55. Los resultados de calcular las resultantes en el empotramiento se muestran a continuación:

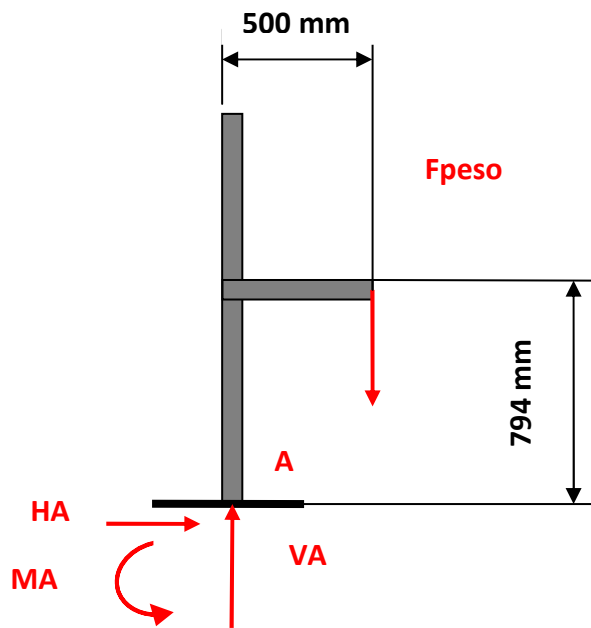
- (1)  $H_A = 0$
- (2)  $\sum F_Y = 0 \rightarrow V_A = F_{\text{peso}}$
- (3)  $\sum M_Z = 0 \rightarrow -F_{\text{peso}} \cdot 500 + M_A = 0 \rightarrow M_A = F_{\text{peso}} \cdot 500$

Por lo tanto, a la vista de estos resultados:

- El axil tiene un valor de  $F_{\text{peso}} = 980 \text{ N}$  a lo largo de todo el pilar.
- El cortante tiene un valor de  $F_{\text{peso}} = 980 \text{ N}$  a lo largo de todo el brazo.
- El momento flector tiene un valor máximo de  $F_{\text{peso}} \cdot 500 = 490000 \text{ N}\cdot\text{mm}$ .

Diagrama de esfuerzos con la percha en la posición intermedia:





. Figura 56: Diagrama de sólido libre

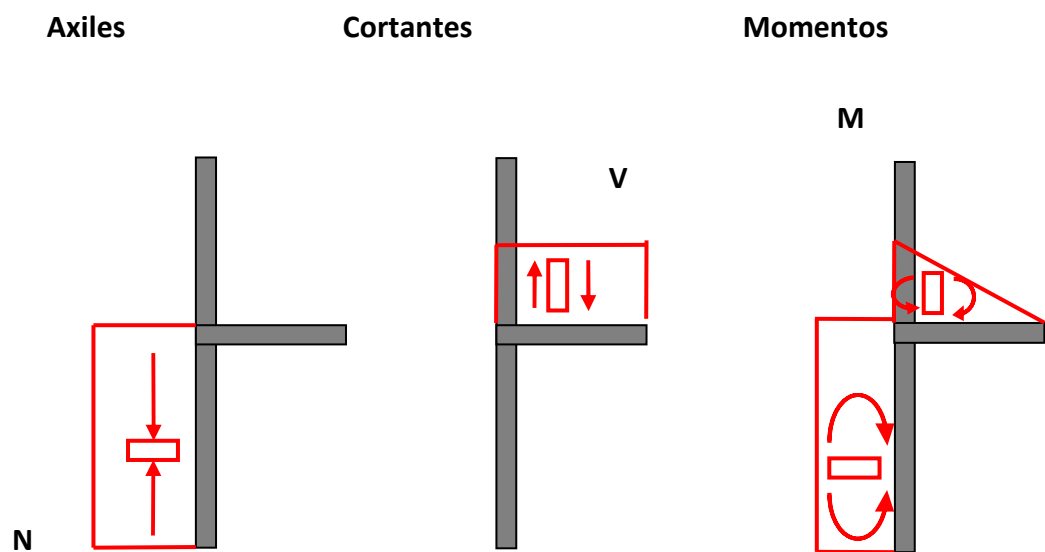


Figura 57: Diagrama de esfuerzos

En este segundo cálculo posicionamos el brazo a la mitad de la carrera del mismo. Como podemos observar en la figura 56 las resultantes en el empotramiento por efecto de la  $F_{\text{peso}}$  no varían, por lo tanto, el valor de los axiales, cortantes y momentos flectores de la figura 57 tendrán los mismos valores y lo único que varía es la longitud en la que están aplicados los esfuerzos.

Gracias a los cálculos realizados con el brazo en dos posiciones diferentes tenemos la información necesaria para saber cuál será la posición más desfavorable. Como hemos visto antes al descender el brazo el esfuerzo cortante permanece igual, lo único que varía es la longitud en la que están aplicados el axil y el momento flector para el pilar.

Podemos deducir por lo tanto que el cálculo con el brazo en la posición inferior no es necesario ya que la posición más desfavorable siempre será con el brazo en la posición superior.

#### 5.2.1.2. Carga a elevar

Para calcular con una carga estándar la estructura se ha elegido un peso de 100 Kg. Este sería en el mercado el peso mínimo de fabricación.

Realizamos el cálculo de la fuerza que ese peso ejerce sobre la percha:

$$(7) \quad F_{\text{peso}} = 100 \cdot 9.8 = 980 \text{ N}$$

Esta fuerza es la que soporta el arnés y que al colocarlo en la percha tenemos que dividirlo entre los dos enganches, luego para el modelo de la simulación aplicaremos en cada enganche la fuerza que llamaremos  $F_{\text{percha}}$ .

$$(8) \quad F_{\text{percha}} = 980 \div 2 = 490 \text{ N}$$

#### **5.2.2. Modelado en 3D.**

El proceso de modelado se ha realizado mediante un programa de modelado 3D denominado SolidWorks. Este programa permite diseñar piezas y estructuras conociendo las dimensiones de las mismas previamente y dibujarlas directamente en 3D. El programa también crea ensamblajes de las piezas para formar una estructura más compleja y te permite añadirle los conectores desde una base de datos.

SolidWorks gracias a su aplicación Simulation, permite realizar los cálculos necesarios con una amplia gama de posibilidades, pero nosotros haremos uso de la herramienta que permite realizar los cálculos estáticos para la estructura.

A continuación se muestran las piezas modeladas que son necesarias para los cálculos posteriores.

#### 5.2.2.1 Brazo.

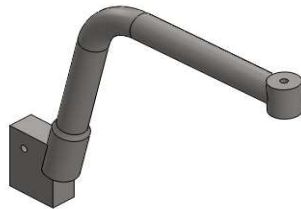


Figura 58: Brazo modelado grúa columna eléctrica

Este brazo ha sido modelado a partir de dos piezas de acero. La primera es un perfil macizo circular curvado fabricado por extrusión, en cuyo extremo se ha creado un tubo circular en posición vertical también por extrusión. La segunda pieza es un cuadrilátero macizo extrusionado, a partir del cual se ha creado un tubo mediante revolución y vaciado con una inclinación respecto al cuadrilátero.

#### 5.2.2.2. Porta brazo.

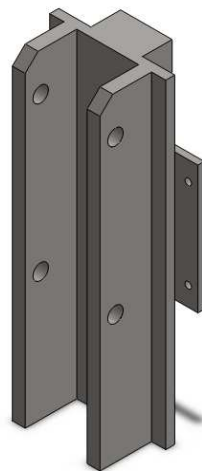


Figura 59: Porta brazo modelado grúa columna eléctrica

Pieza que hace de unión entre el brazo y el carro del tornillo. Está formada por dos piezas de acero. La primera es una placa con orificios en los que se colocan los tornillos que la unen al carro y se ha creado mediante extrusión y corte. La segunda es algo más compleja, se ha modelado mediante un croquis de la planta y a partir de ahí se extrusiona, para después crear los orificios y los chaflanes superiores.

#### 5.2.2.3. Percha.

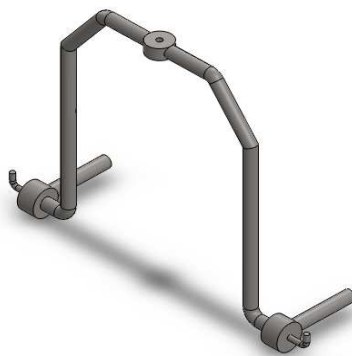


Figura 60: Percha modelada grúa columna eléctrica

Este subensamblaje ha sido creado a partir de tres piezas de acero. En la primera tenemos un arco simétrico creado mediante saliente/base barrido y en la parte central consta de un tubo extrusionado. Las otras dos piezas son simétricas y constan de un tubo macizo al que se le acopla otro tubo macizo perpendicularmente y por último un gancho perpendicular al último cilindro creado por extrusión.

#### 5.2.2.4. Columna

La columna no ha sido modelada con el programa SolidWorks. Mediante la página web de Thomson Linear puedes tener acceso a dibujos en 3D de sus productos. En concreto esta columna es 2HB M10 Accuslide system.

#### 5.2.2.5 Base

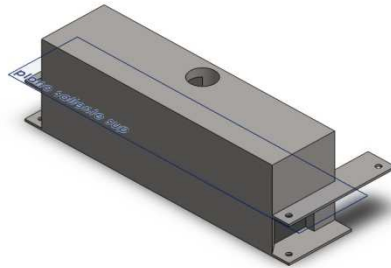


Figura 61: Base modelada grúa columna eléctrica

Esta pieza es más complicada de modelar que el resto de la estructura. Consta de un primer perfil cuadrado macizo de grandes dimensiones extrusionado y a continuación se vacía para que el interior permanezca hueco. El siguiente paso es crear los salientes laterales perpendiculares a la parte central y por último se cortan los orificios, chaflanes y agujeros rectangulares del lateral.

#### 5.2.2.6. Patas

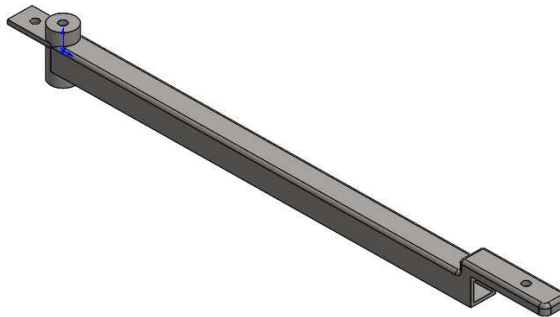


Figura 62: Pata modelada grúa columna eléctrica

Pieza de acero creada a partir de un perfil cuadrado hueco al que se le acopla un cilindro hueco en un extremo perpendicularmente y se crea un saliente en el otro extremo. También se croquiza un saliente perpendicular al tubo. Por último se cortan los orificios y se redondean las aristas.

#### 5.2.2.7. Ensamblaje.

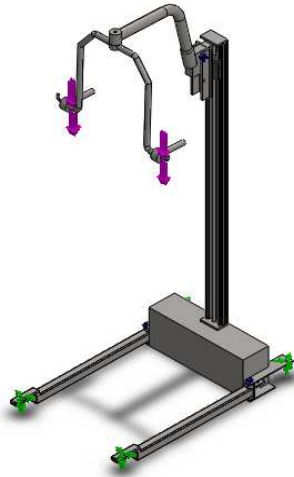


Figura 63: Ensamblaje grúa columna eléctrica

### **5.2.3. Simulación mediante el método de los elementos finitos.**

#### 5.2.3.1. Análisis con las patas de la grúa en posición cerrada.

##### **5.2.3.1.1. Materiales**

El primer paso para realizar el análisis es definir el material de las piezas a calcular. Toda la estructura es formada por perfiles de acero así que daremos a todos el mismo material, que en este caso es un acero para estructuras DIN 1.0044 (S275JR) con las siguientes características:

Nombre:	<b>1.0044 (S275JR)</b>
Tipo de modelo:	<b>Isotrópico elástico lineal</b>
Criterio de error predeterminado:	<b>Tensión máxima de von Mises</b>
Límite elástico:	<b>2.75e+008 N/m<sup>2</sup></b>
Límite de tracción:	<b>5.00826e+008 N/m<sup>2</sup></b>
Módulo elástico:	<b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b>
Coefficiente de Poisson:	<b>0.28</b>
Densidad:	<b>7800 kg/m<sup>3</sup></b>
Módulo cortante:	<b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b>
Coefficiente de dilatación térmica:	<b>1.1e-005 /Kelvin</b>

Figura 64: Material acero S275JR

#### 5.2.3.1.2. Sujeciones.

En la realidad las patas de la grúa están unidas a unas ruedas y estas pueden girar permitiendo a la grúa desplazarse. Para realizar los cálculos estáticos eliminamos las ruedas y posicionamos las sujeciones en las caras cilíndricas que serían los orificios para los pasadores de unión a las ruedas.

Por lo tanto la sujeción se realiza sobre estas caras cilíndricas bloqueando el desplazamiento en los ejes X e Y pero permitiendo el giro en Z.

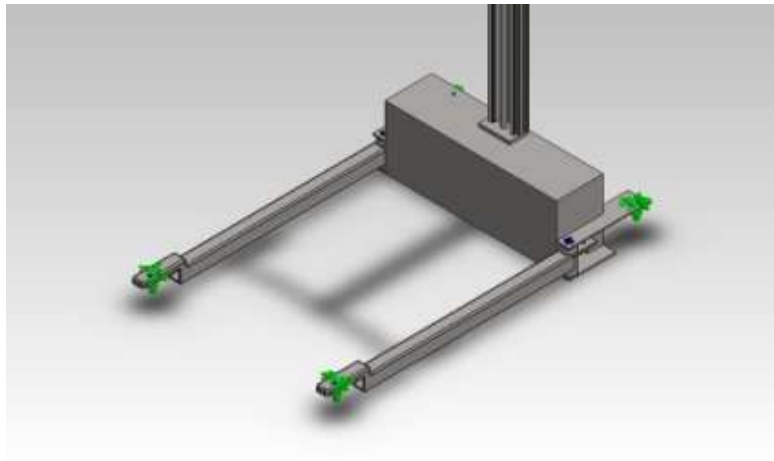


Figura 65: Sujeciones para grúa con columna eléctrica

#### 5.2.3.1.3. Cargas externas.

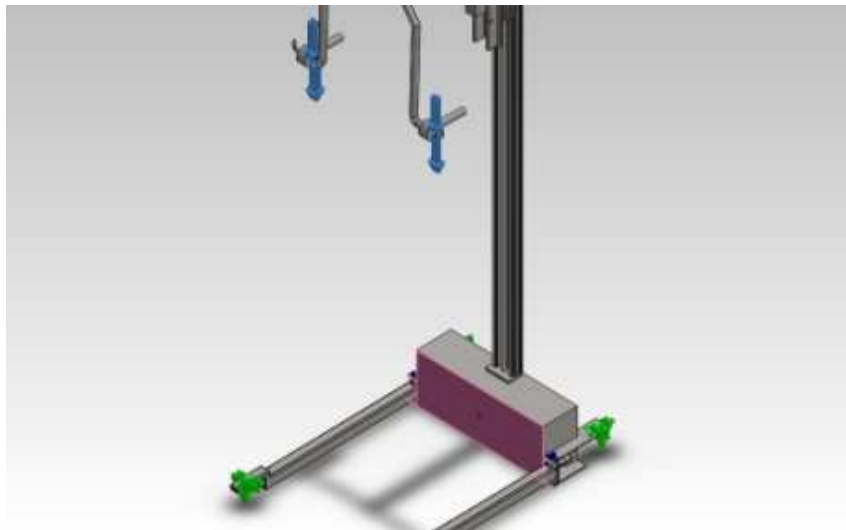


Figura 66: Cargas externas para grúa con columna eléctrica

La carga que ha de elevar la grúa son 100 Kg., por lo tanto ha de elevar un peso de 980 N en total. Este peso lo dividimos en 490 N para cada gancho de la percha y lo localizaremos en el cilindro horizontal, que forma parte de la curva del gancho, de forma que siempre esté vertical y hacia abajo como vemos en la figura 66.

#### **5.2.3.1.4. Definición de los conectores**

La estructura de la grúa está formada por multitud de piezas ensambladas entre sí, es por eso que definimos una gran cantidad de conexiones entre piezas de forma rígida. Las conexiones que se realizan son las siguientes:

##### **Conexiones entre piezas de forma rígida:**

- Conexión base y placa inferior de la columna.
- Conexión placa inferior de la columna con tornillo y raíl.
- Conexión placa superior de la columna con tornillo y raíl.
- Conexión tornillo y carro.
- Conexión carro y porta brazo.
- Conexión porta brazo entre sus piezas internas.
- Conexión porta brazo y brazo.
- Conexión brazo con sus piezas internas.
- Conexión brazo y percha
- Conexión percha con sus piezas internas.

Para el resto de conexiones usamos 6 pasadores. En la unión de dos piezas en las que se calcularían como doble cortadura, utilizaremos dos pasadores en vez de uno ya que la suma de ambos es el mismo resultado que uno a doble cortadura y el programa los calcula con mayor facilidad. A continuación definimos las posiciones de estos pasadores.

##### **Pasadores:**

- N°1. Conector tipo pasador derecho de unión porta brazo y brazo.
- N°2. Conector tipo pasador izquierdo de unión porta brazo y brazo.
- N°3. Conector tipo pasador superior derecho de unión pata y base.
- N°4. Conector tipo pasador superior izquierdo de unión pata y base.
- N°5. Conector tipo pasador inferior derecho de unión pata y base.
- N°6. Conector tipo pasador inferior izquierdo de unión pata y base.



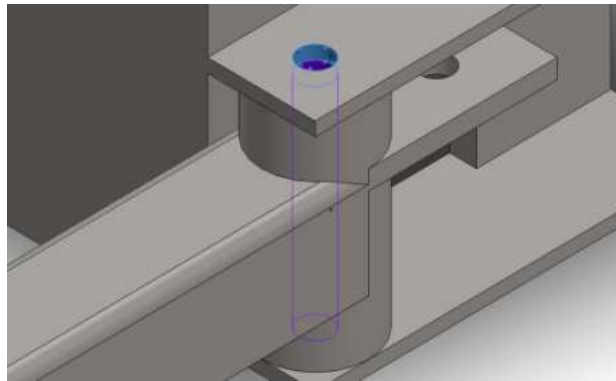


Figura 67: Ejemplo de pasador para grúa con columna eléctrica

#### **5.2.3.1.5. Mallado.**

Una vez establecidas las cargas, sujeciones y conexiones procedemos a realizar el mallado del conjunto. Para ello el programa crea una malla sólida con elementos cuadráticos de alto orden en toda la estructura.

La unión del tornillo y el carro es una zona conflictiva en la que el programa Solidworks puede encontrar problemas a la hora de mallar, por ello se ha realizado un control de mallado fino para ambas piezas que permite realizar elementos cuadráticos más pequeños en el contacto de ambas superficies.



Figura 68: Mallado para grúa con columna eléctrica

### 5.2.3.1.6. Ejecución.

#### TENSIÓN DE VON MISES:

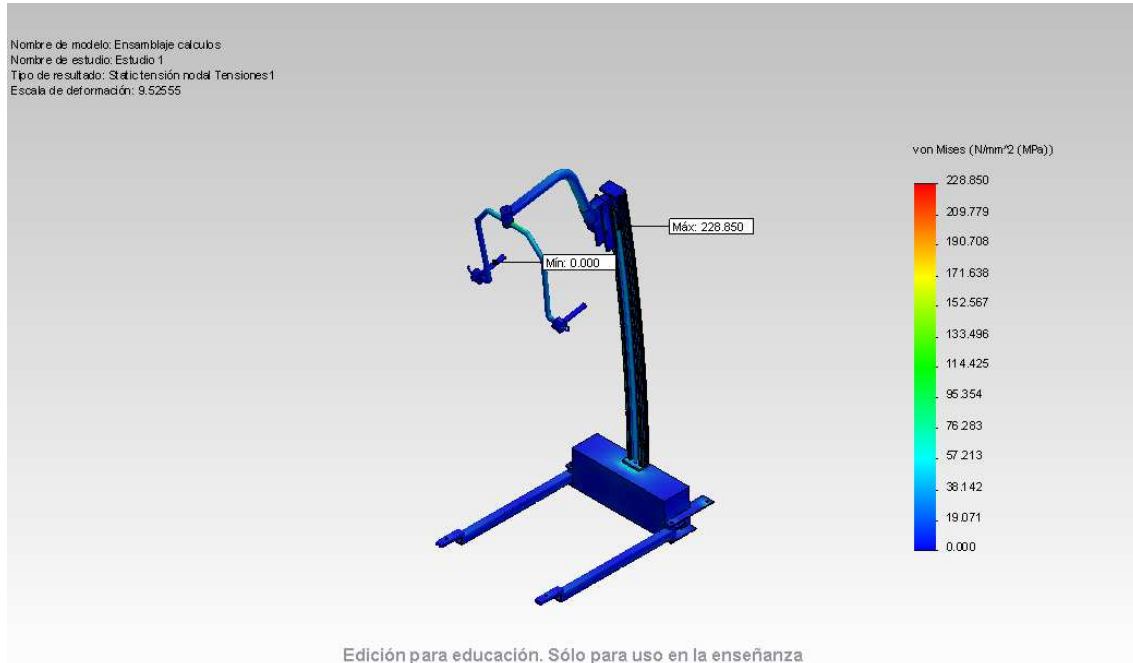


Figura 69: Tensión de Von Mises para grúa con columna eléctrica patas cerradas

Al ejecutar la grúa con las condiciones impuestas anteriormente el programa nos proporciona las tensiones a las que está sometida la estructura.

Como vemos en la figura 69 el máximo de tensión de 228.85 MPa lo encontramos en el carro en la unión de este con el raíl y el tornillo.

También tenemos tensiones relevantes en la unión de la columna con la base y en el arco de la percha entorno a los 114.125 MPa.

Por el diseño de la estructura de la grúa es normal que las tensiones máximas se encuentren en las zonas señaladas.

## DESPLAZAMIENTOS:

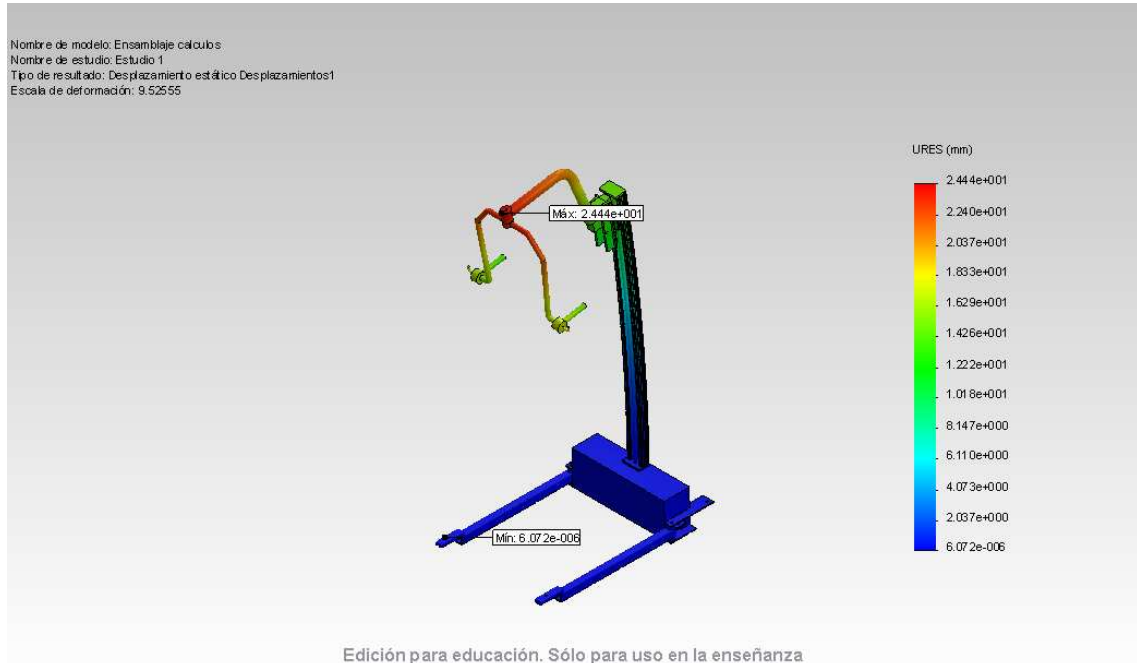


Figura 70: Desplazamientos para grúa con columna eléctrica patas cerradas

En la zona de unión de la percha y el brazo encontramos el máximo desplazamiento de la estructura con un valor de 2.44 mm. Tanto el brazo como la percha tienen deformaciones altas que se reducen conforme se alejan de la unión de ambas. Por otro lado debido al peso colocado en la percha la columna tiende a flexionarse y por lo tanto también sufre un desplazamiento que se reduce conforme nos alejamos del peso, aunque menos que el del brazo y la percha.

## DEFORMACIONES:

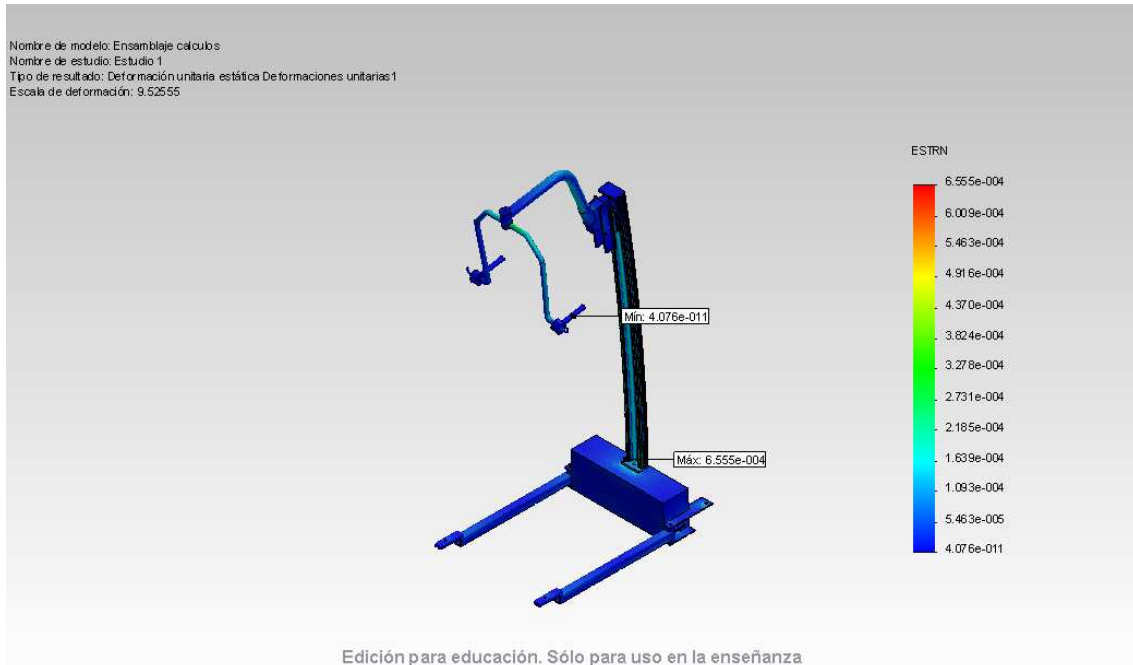


Figura 71: Deformaciones para grúa con columna eléctrica patas cerradas

El peso colocado en la percha obliga a la estructura a flexionar hacia adelante por lo tanto es lógico que las mayores deformaciones se encuentren en la unión de la columna con la base. Esta deformación máxima es de 0.0006555.

También encontramos deformaciones menores pero significativas en el tornillo y la percha ya que estos están igualmente sometidos a mayores tensiones que el resto.

## FACTOR DE SEGURIDAD:

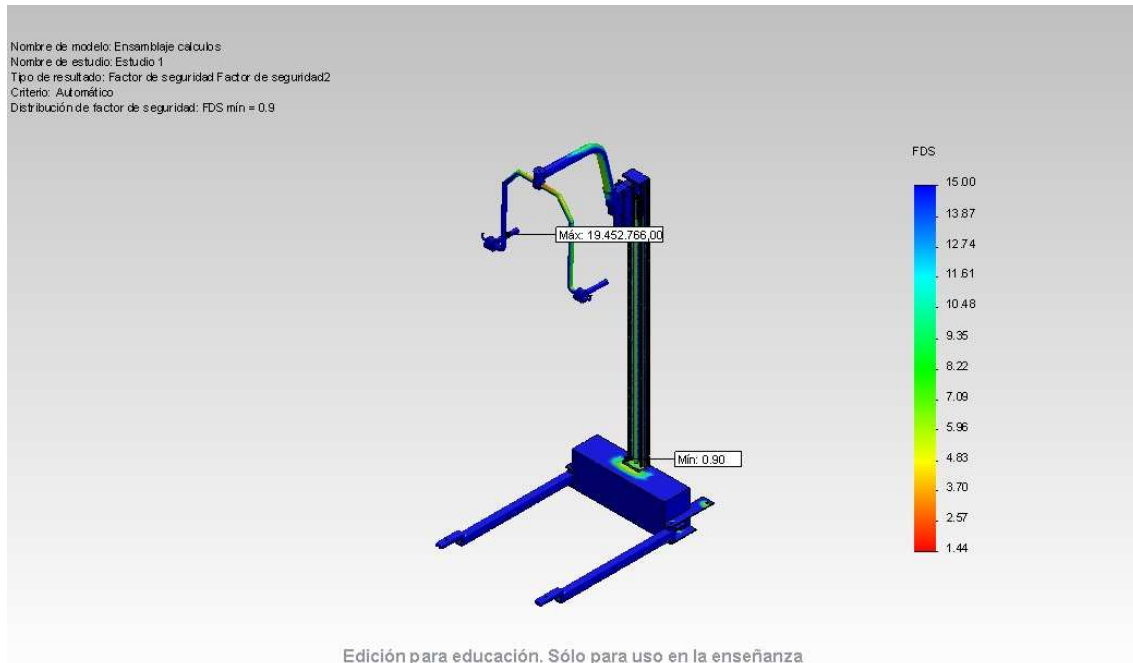


Figura 72: Factor de seguridad para grúa con columna eléctrica patas cerradas

La base de la estructura tiene un coeficiente de seguridad elevado ya que apenas tiene tensiones que le afecten, sin embargo, el tornillo, la unión de la columna y la base y la percha que sufrían las mayores tensiones y deformaciones tienen factores de seguridad inferiores al resto, encontrándose el mínimo de 0.9 en la unión de la columna y la base.

El factor de seguridad de 0.9 es muy pequeño por lo que en una optimización posterior de algunas piezas de esta grúa buscaremos elevar esta cifra por encima de la unidad.

**COMPROBACIÓN DE LOS PASADORES:**

CONECTOR	COMPROBACIÓN
Conector tipo pasador nº1	<b>Correcto</b>
Conector tipo pasador nº2	<b>Correcto</b>
Conector tipo pasador nº3	<b>Correcto</b>
Conector tipo pasador nº4	<b>Correcto</b>
Conector tipo pasador nº5	<b>Correcto</b>
Conector tipo pasador nº6	<b>Correcto</b>

Figura 73: Comprobación de los pasadores pata cerrada para grúa columna eléctrica

5.2.3.2. Resultados análisis con las patas en posición abierta.

## TENSIÓN DE VON MISES:

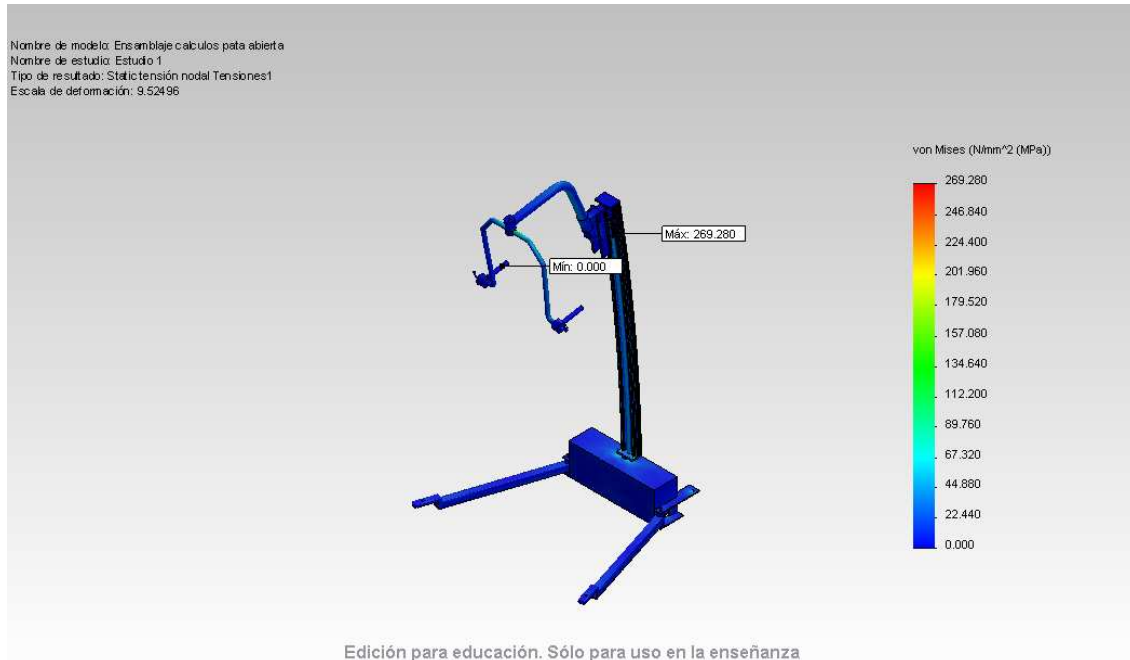


Figura 74: Tensiones de Von Mises para patas abiertas en grúa columna

Al igual que en la simulación con las patas cerradas obtenemos las mayores tensiones en la zona de unión de la base y la columna, en el tornillo y en la percha. En este caso el máximo de 269.28 MPa se encuentre en el carro en la unión de este con el tornillo. La tensión máxima obtenida posicionando las patas como se ve en la figura 74 es mayor que en la simulación anterior con las patas cerradas ya hace que la estructura se deforme menos pero para ello se generan tensiones mayores.

## DESPLAZAMIENTOS:

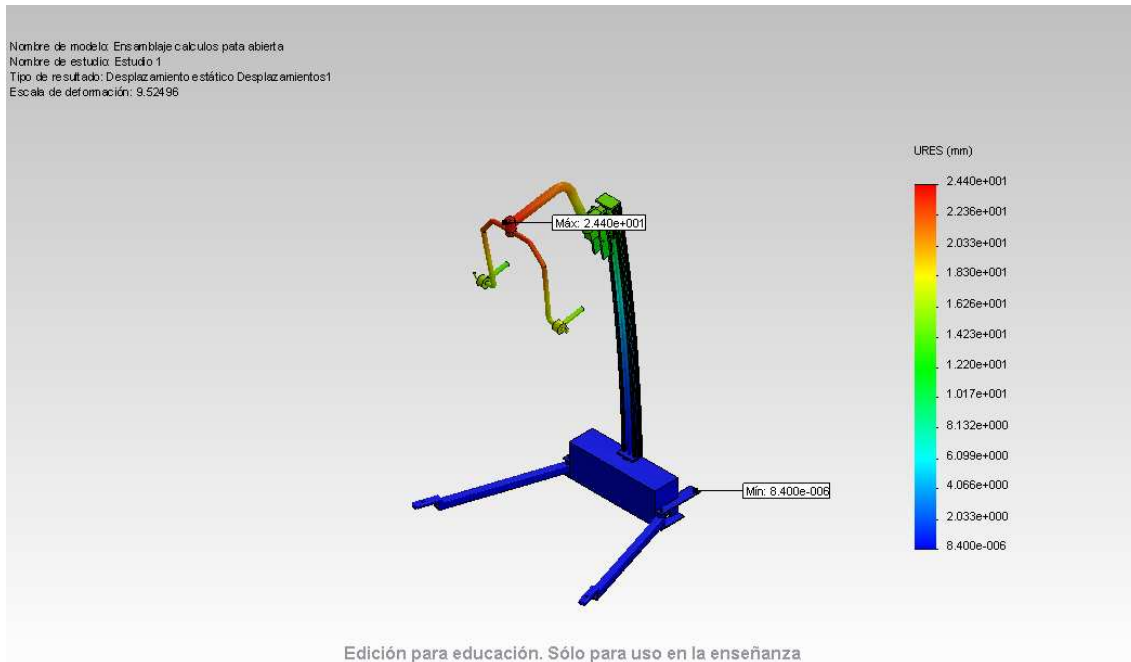


Figura 75: Desplazamientos para patas abiertas en grúa columna

El máximo desplazamiento lo encontramos al igual que en la anterior simulación en la unión de la percha y el brazo y es de 2.44 mm. Por acción de la carga la percha y el brazo sufren los mayores desplazamientos como se preveía. También encontramos desplazamientos con valores menores en toda la columna que se reducen conforme nos aproximamos a la base.



## DEFORMACIONES:

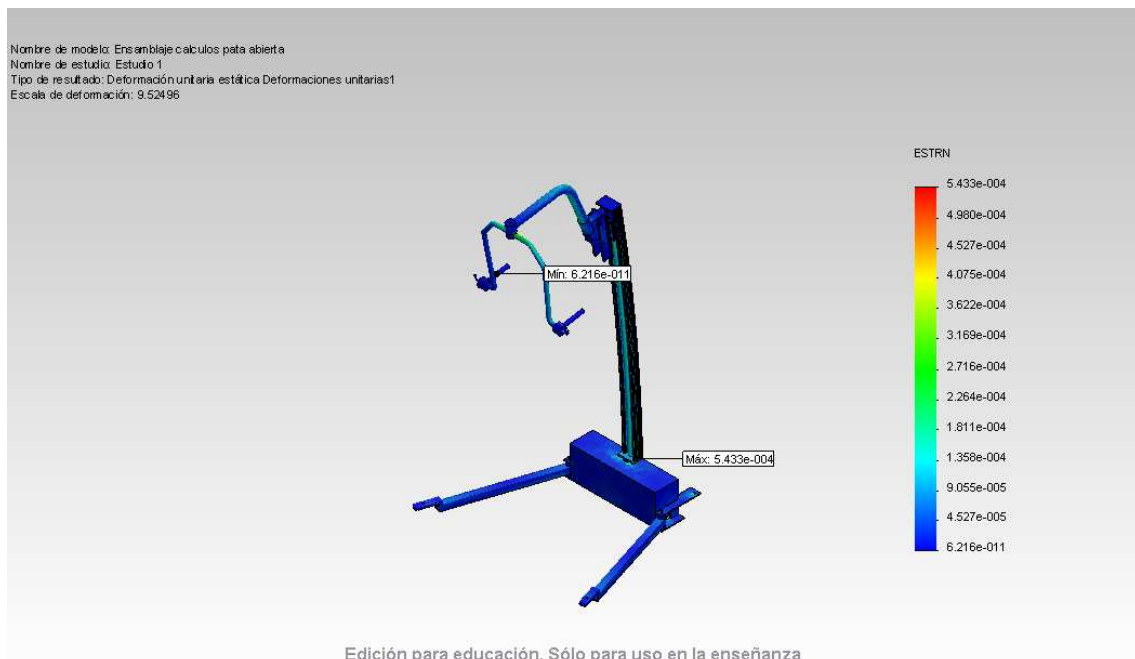


Figura 76: Deformaciones para patas abiertas en grúa columna

Como hemos dicho antes posicionando las patas de modo que permanezcan abiertas hace que la estructura adquiera estabilidad a la hora de aplicar la carga en los extremos de la percha y esto se traduce en que las deformaciones que sufre la estructura son menores que en la simulación anterior. El máximo de deformación lo encontramos en la unión de la base y la columna y es de 0.0005433.

## FACTOR DE SEGURIDAD:

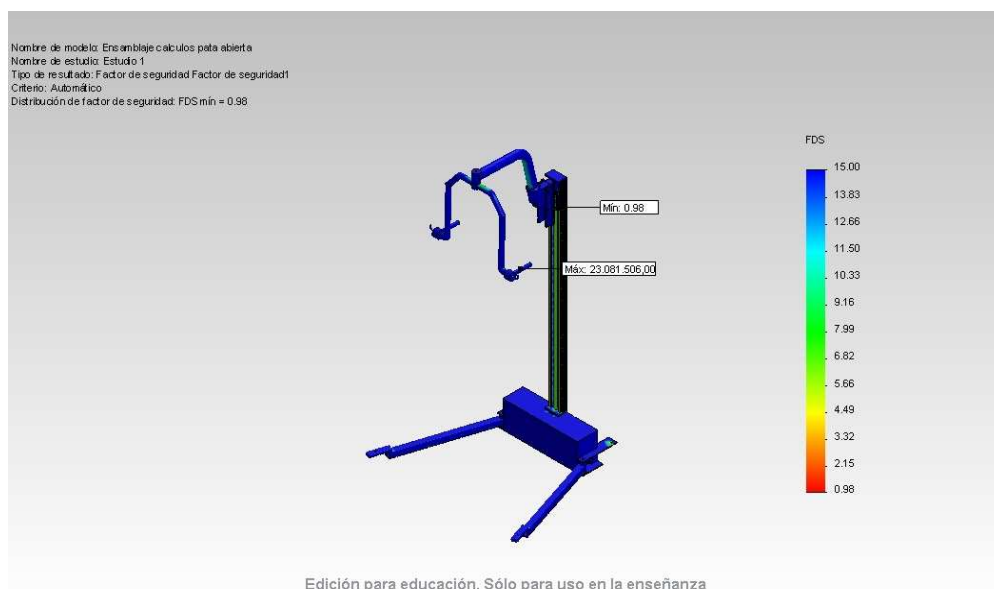


Figura 77: Factor de seguridad para patas abiertas en grúa columna

La base de la estructura tiene un coeficiente de seguridad elevado ya que apenas tiene tensiones que le afecten, sin embargo, el tornillo, la unión de la columna y la base y la percha que sufrían las mayores tensiones y deformaciones tienen factores de seguridad inferiores al resto, encontrándose el mínimo de 0.98 en la unión de la columna y la base.

El factor de seguridad de 0.98 es muy pequeño por lo que en una optimización posterior de algunas piezas de esta grúa buscaremos elevar esta cifra por encima de la unidad.

### **PESO DEL CONJUNTO:**

La estructura de esta grúa tiene un peso de 109.77 Kg. sin las ruedas.

## **5.3. GRÚA ORTOPÉDICA DE TECHO MÓVIL.**

### **5.3.1. Hipótesis de trabajo.**

#### 5.3.1.1. Cálculo de la posición más desfavorable.

Para estudiar la posición más desfavorable de la grúa tenemos por un lado las columnas que se elevan o descienden y por otro lado el raíl con la percha que se desplaza horizontalmente por él. Sin necesidad de hacer cálculos sabemos que es más desfavorable desde el punto de vista resistente si las columnas están totalmente elevadas ya que esto da una longitud total mayor a los pilares laterales. Para el cálculo de la posición más desfavorable con el raíl procederemos con dos diagramas. Como la estructura de esta grúa es simétrica realizaremos un primer cálculo con la carga en un extremo y un segundo cálculo con la carga en el centro.

Para simplificar los cálculos sólo realizaremos el diagrama de momentos flectores en la barra superior que es donde vamos a tener el momento más desfavorable.

Diagrama de sólido libre con la percha en el extremo:

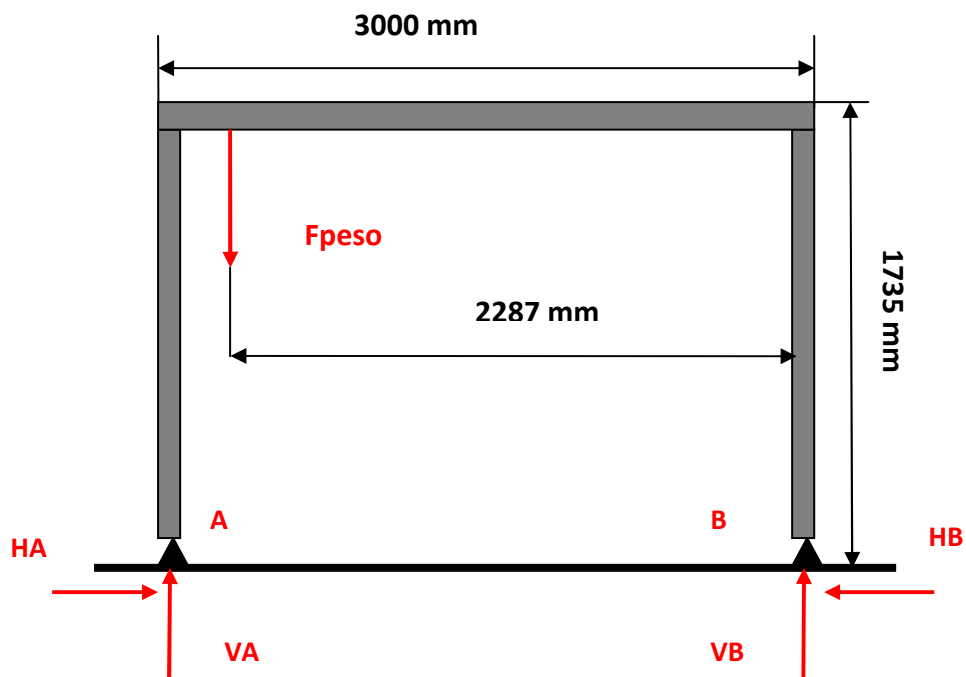


Figura 78: Diagrama de sólido libre en grúa de techo con carga extremo

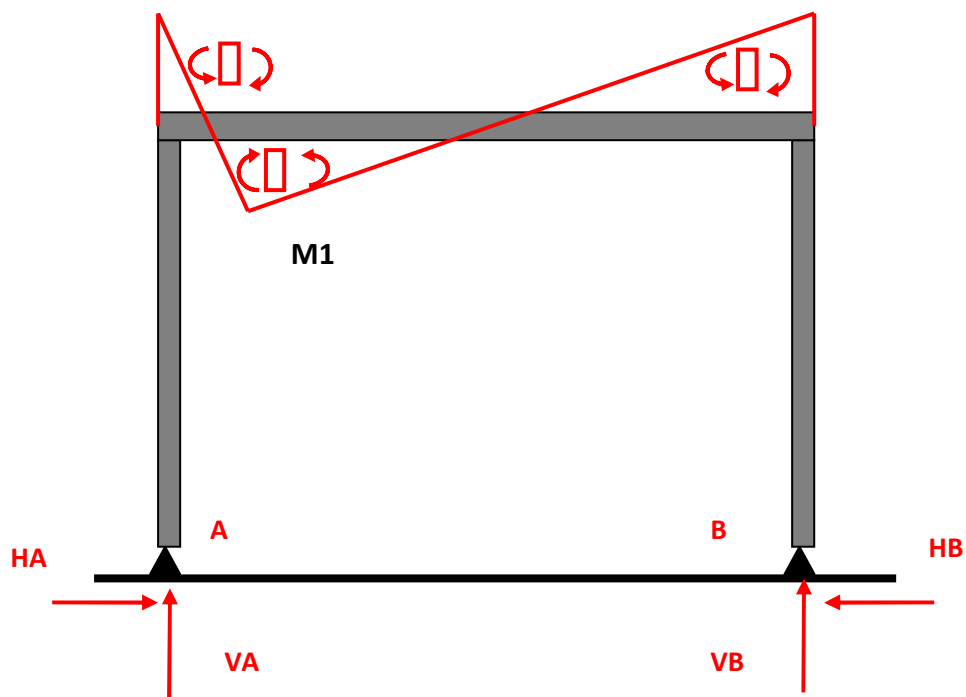


Figura 79: Diagrama de Momentos flectores en grúa de techo con carga extremo

Diagrama de sólido libre con la percha en el centro:

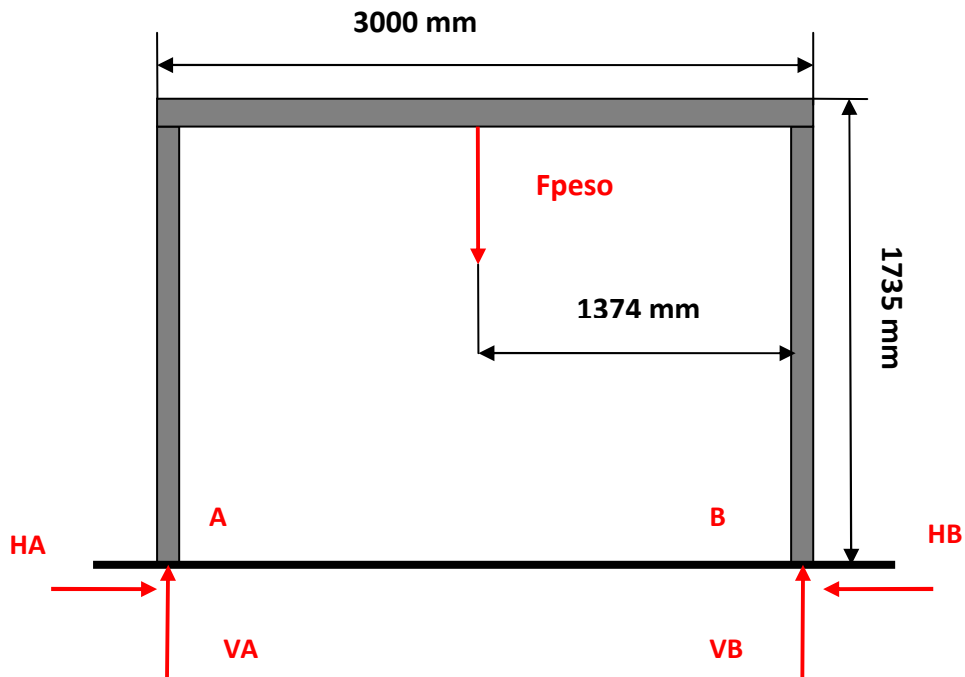


Figura 80: Diagrama de sólido libre en grúa de techo con carga centro

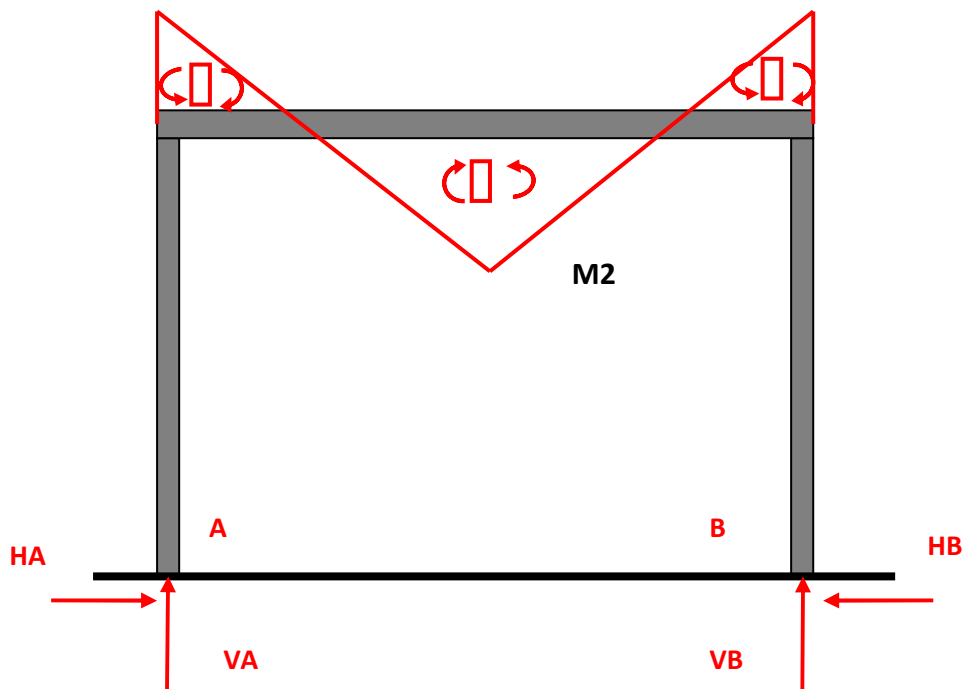


Figura 81: Diagrama de momentos flectores en grúa de techo con carga centro

Luego como apreciamos en los diagramas a simple vista M2 siempre será mayor que M1, por lo tanto la posición más desfavorable para el cálculo será con la carga en el centro del raíl.

#### 5.3.1.2. Carga a elevar.

Esta tercera grúa de techo móvil es mucho más rígida que las dos anteriores y permite elevar una carga mayor, pero para realizar los cálculos elegiremos una carga de 100 Kg. que nos permitirá realizar una comparación posterior.

Realizamos el cálculo de la fuerza que ese peso ejerce sobre la percha:

$$(7) \quad F_{\text{peso}} = 100 \cdot 9.8 = 980 \text{ N}$$

Esta fuerza es la que soporta el arnés y que al colocarlo en la percha tenemos que dividirlo entre los dos enganches, luego para el modelo de la simulación aplicaremos en cada enganche la fuerza que llamaremos F percha.

$$(8) \quad F_{\text{percha}} = 980 \div 2 = 490 \text{ N}$$

#### 5.3.1.3. Fuerza de las columnas.

En el modelo real las columnas ejercen una fuerza sobre el raíl de 2000 N cada una para poder elevarlo, sin embargo a la hora de simular el ensamblaje que se utilizará en los cálculos no definiremos estas fuerzas ya que proporcionan mayor rigidez al pórtico y queremos calcular desde la posición más desfavorable.

### **5.3.2. Modelado en 3D.**

#### 5.3.2.1. Patas.

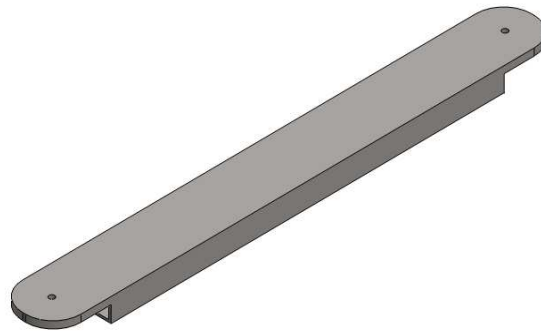


Figura 82: Pata modelada para grúa de techo

Pieza de acero muy sencilla. Extruida a partir de un perfil rectangular hueco al que se le croquizan dos salientes que posteriormente se redondean y perforan para posicionar los pasadores.

#### 5.3.2.2. Pilar



Figura 83: Pilar modelado para grúa de techo

Es posiblemente la pieza más sencilla de toda la estructura. Fabricada en acero consiste en un perfil rectangular hueco creado mediante extrusión.

#### 5.3.2.3. Columna.

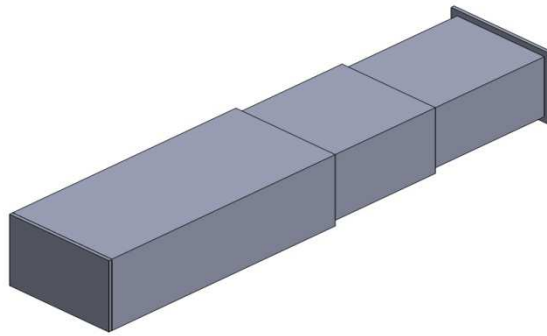


Figura 84: Columna modelada para grúa de techo

Este subensamblaje está formado por 5 piezas de acero consistentes en perfiles rectangulares huecos unidos entre sí a una distancia y con dos placas rectangulares posicionadas en los extremos. Todo ha sido realizado mediante extrusión.

#### 5.3.2.4. Raíl

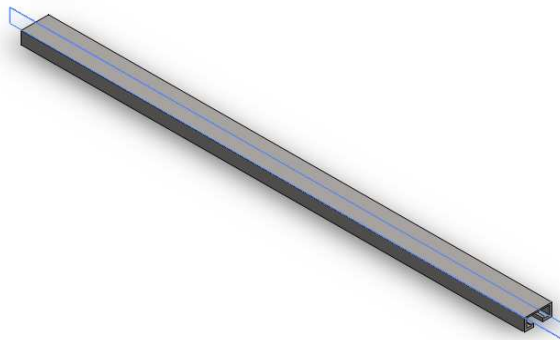


Figura 85: Raíl modelada para grúa de techo

Para realizar esta pieza se croquiza el perfil que da forma a los carriles por donde deslizan las ruedas del eje y a continuación se extruye. Es una pieza muy sencilla hecha de acero.

#### 5.3.2.5. Eje.

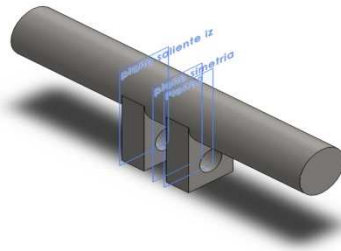


Figura 86: Eje modelado para grúa de techo

Este elemento de unión entre la percha y el raíl esta hecho de acero y consiste en un cilindro extruido al cual se le añaden dos salientes perpendiculares en la parte inferior. A estos salientes se les corta los orificios que servirán para conectar el pasador.

El eje en un subensamblaje posterior incorpora un par de rodamientos en sus extremos que harán la función de ruedas.

#### 5.3.2.6. Percha

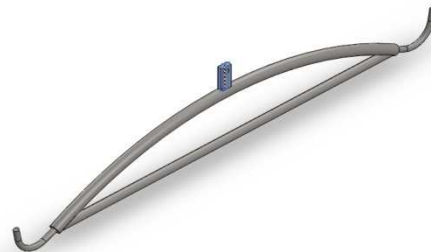


Figura 87: Percha modelada para grúa de techo

Pieza formada por varios perfiles circulares de poco espesor como se ve en la imagen 79. Esta creada de acero y consiste en un arco superior, un perfil transversal inferior, los dos ganchos y por último la pieza que conectará la percha al eje. Los perfiles se han creado mediante saliente/base barrido y la pieza superior por extrusión.

#### 5.3.2.7. Ensamblaje.





Figura 88: Ensamblaje

### **5.3.3. Simulación mediante el método de los elementos finitos.**

#### 5.3.3.1. Materiales.

El primer paso para realizar el análisis es definir el material de las piezas a calcular. Toda la estructura es formada por perfiles de acero así que daremos a todos el mismo material, que en este caso es un acero para estructuras DIN 1.0044 (S275JR) con las siguientes características:

Nombre:	<b>1.0044 (S275JR)</b>
Tipo de modelo:	<b>Isotrópico elástico lineal</b>
Criterio de error predeterminado:	<b>Tensión máxima de von Mises</b>
Límite elástico:	<b>2.75e+008 N/m<sup>2</sup></b>
Límite de tracción:	<b>5.00826e+008 N/m<sup>2</sup></b>
Módulo elástico:	<b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b>
Coefficiente de Poisson:	<b>0.28</b>
Densidad:	<b>7800 kg/m<sup>3</sup></b>
Módulo cortante:	<b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b>
Coefficiente de dilatación térmica:	<b>1.1e-005 /Kelvin</b>

Figura 89: Material acero S275JR

#### 5.3.3.2. Sujeciones.

En la realidad las patas de la grúa están unidas a unas ruedas y estas pueden girar permitiendo a la grúa desplazarse. Para realizar los cálculos estáticos eliminamos las

ruedas y posicionamos las sujeciones en las caras cilíndricas que serían los orificios para los pasadores de unión a las ruedas.

Por lo tanto la sujeción se realiza sobre estas caras cilíndricas bloqueando el desplazamiento en los ejes X e Y pero permitiendo el giro en Z.

#### 5.3.3.3. Cargas externas.

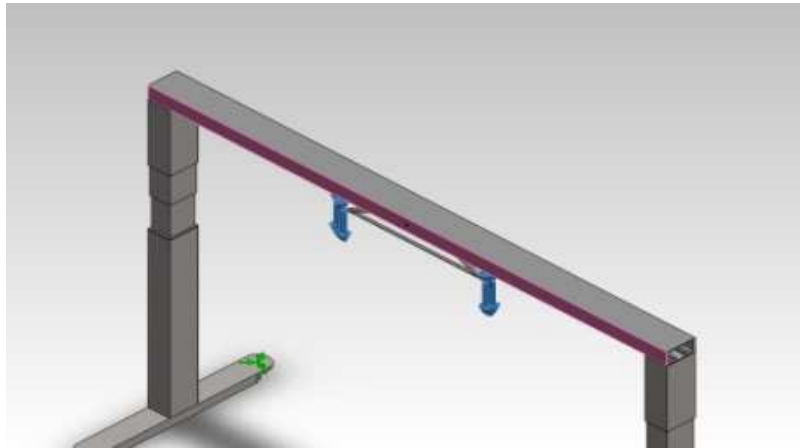


Figura 90: Cargas externas grúa de techo

La carga que ha de elevar la grúa son 100 Kg., por lo tanto ha de elevar un peso de 980 N en total. Este peso lo dividimos en 490 N para cada gancho de la percha y lo localizaremos en el cilindro horizontal, que forma parte de la curva del gancho, de forma que siempre esté vertical y hacia abajo como vemos en la figura 90.

#### 5.3.3.4. Definición de los conectores.

Por un lado tenemos las piezas que conectan de forma rígida entre ellas:

- Conexión pata izquierda y pilar izquierdo.
- Conexión pata derecha y pilar derecho.
- Conexión pilar izquierdo con placa inferior columna izquierda.
- Conexión pilar derecho con placa inferior columna derecha.
- Conexión columna izquierda entre sus componentes.
- Conexión columna derecha entre sus componentes.
- Conexión placa superior columna izquierda con raíl.
- Conexión placa superior columna derecha con raíl.
- Conexión eje con rodamientos.

Por otro lado tenemos una conexión de dos piezas sin penetración:

- Conexión entre los rodamientos y el raíl.

Por último tenemos los conectores de tipo pasador que en esta grúa definiremos dos.

- N°1. Conector tipo pasador izquierdo de unión eje y percha.
- N°2. Conector tipo pasador derecho de unión eje y percha.

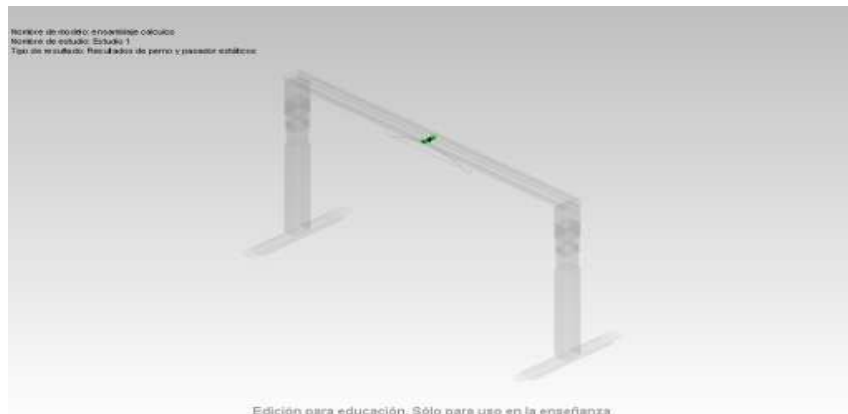


Figura 91: Posición de los dos pasadores en la grúa

#### 5.3.3.5. Mallado.



Figura 92: Mallado en grúa de techo móvil.

Una vez establecidas las cargas, sujeciones y conexiones procedemos a realizar el mallado del conjunto. Para ello el programa crea una malla sólida con elementos cuadráticos de alto orden en toda la estructura.

#### 5.3.3.6. Ejecución.

### **TENSIÓN DE VON MISES:**

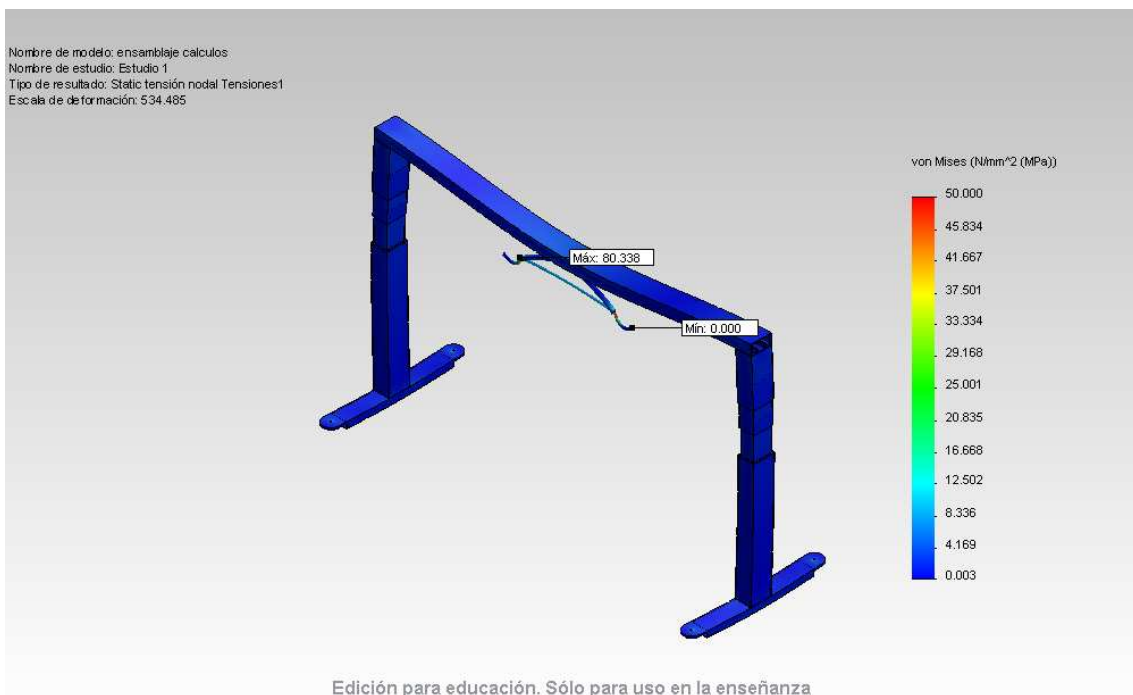


Figura 93: Tensión de Von Mises en grúa de techo móvil.

La grúa de techo móvil, es una estructura muy rígida por lo tanto las tensiones que se obtienen con la simulación son mucho menores que en las otras grúas estudiadas.

Como vemos en la figura 93 el máximo obtenido se localiza en la percha y es de 80.338 MPa. La escala del gráfico sólo muestra hasta 50 de modo que podamos apreciar como el raíl también sufre tensión aunque en menor medida y está entorno a 8.336 MPa.

Los orificios en los que se encuentran los pasadores que conectan las patas con las ruedas cuentan con una tensión local similar en magnitud a la del raíl.

## DESPLAZAMIENTOS:

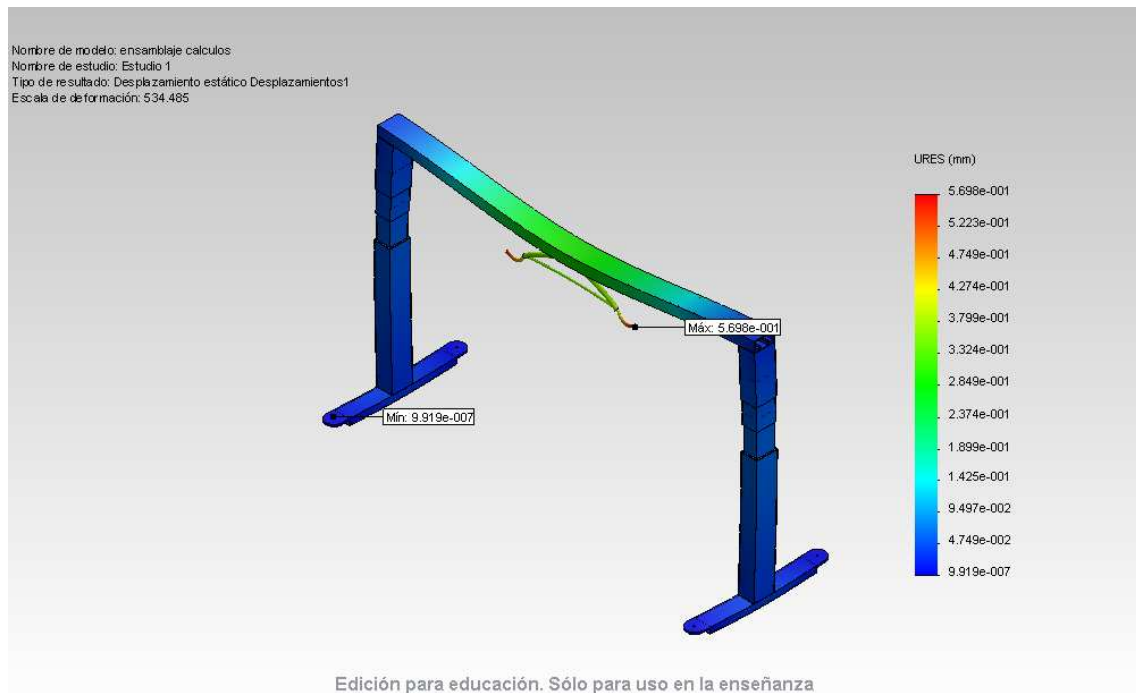


Figura 94: Desplazamientos en grúa de techo móvil.

Por el efecto de la carga en los ganchos de la percha, esta se desplaza hacia abajo dando lugar a que el máximo desplazamiento de 0.5698 mm se dé en ella. Además vemos en la figura 94 como el raíl también se desplaza en la dirección de la carga entorno a 0.237 mm. El eje que sostiene la percha se deforma de manera similar al raíl aunque en la figura no puede apreciarse.

El hecho de que el máximo desplazamiento se localice debajo de la carga demuestra que la simulación es correcta.

## DEFORMACIONES:

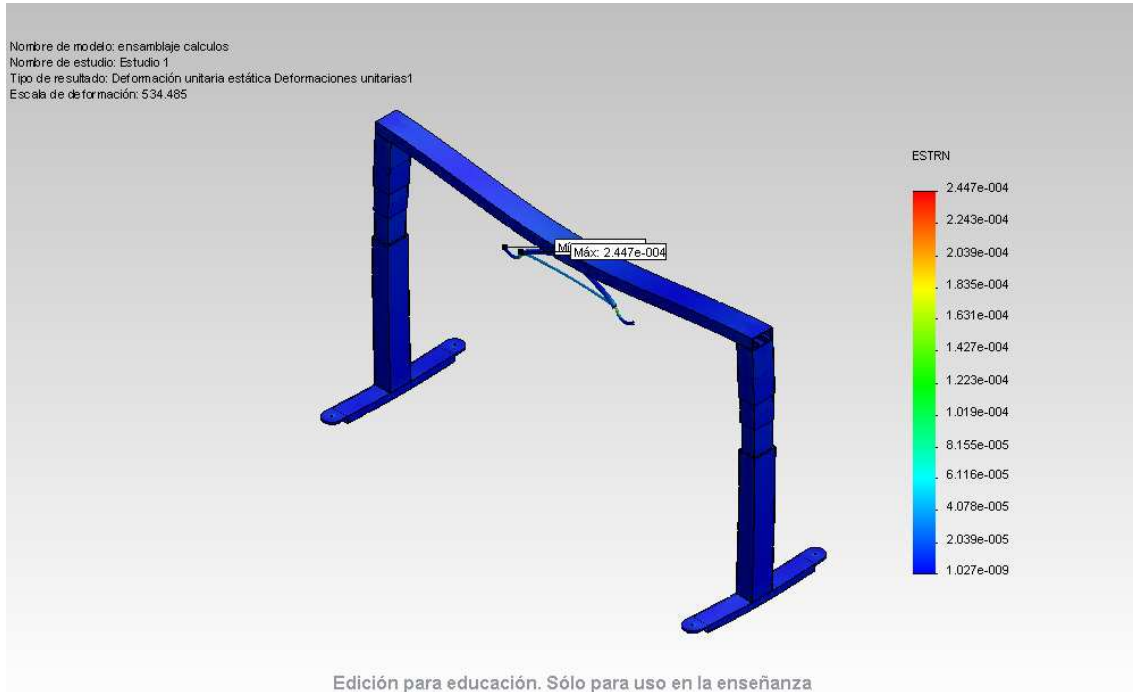


Figura 95: Deformaciones en grúa de techo móvil.

La estructura de este pórtico es tan rígida que apenas puede decirse que se deforme, por lo tanto lo que tiende a deformarse es la percha que sostiene la carga. La máxima deformación de 0.0002447 se localiza en el gancho de la percha, que también sufre deformaciones menores en toda la pieza.

Aunque en la figura no se aprecie también obtenemos deformaciones en el eje de unión de la percha y el raíl entorno a 0.00008155, mucho menor en valor que el máximo.

## FACTOR DE SEGURIDAD:

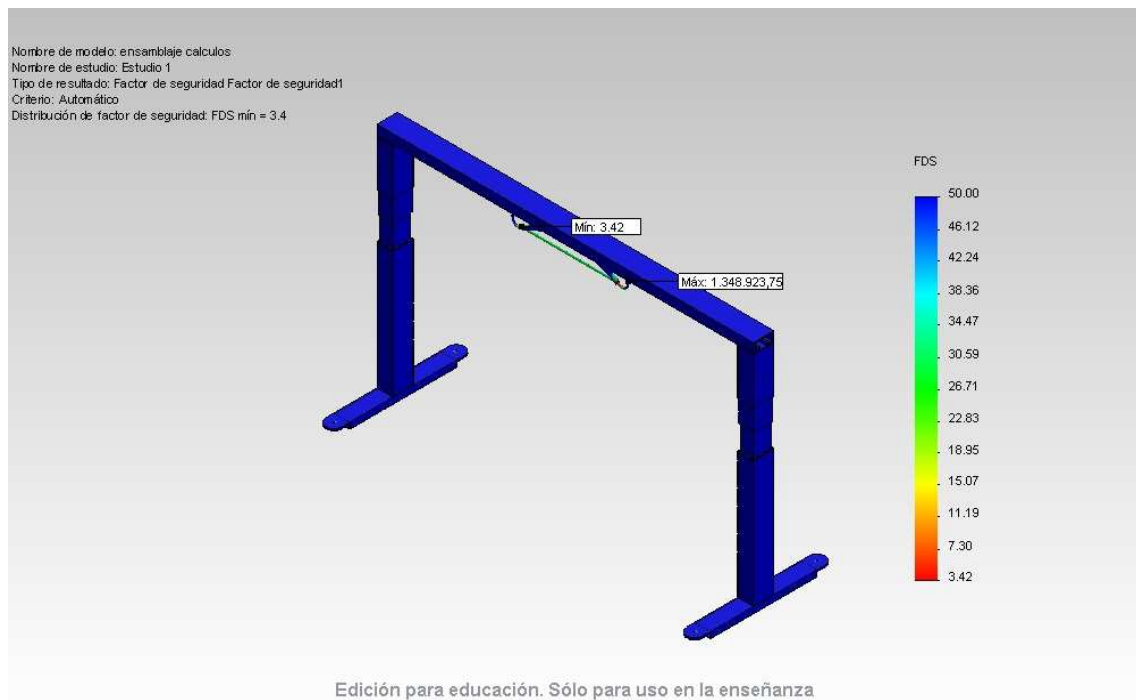


Figura 96: Factor de seguridad en grúa de techo móvil.

El mínimo factor de seguridad que obtenemos en la estructura es de 3.42 y se localiza en la percha.

Es un factor de seguridad que puede considerarse alto en comparación a las otras grúas y es lógico que este se dé en la percha ya que es esta la que sufre las mayores tensiones y deformaciones.

**COMPROBACIÓN DE LOS PASADORES:**

CONECTOR	COMPROBACIÓN
Conector tipo pasador nº1	<b>Correcto</b>
Conector tipo pasador nº2	<b>Correcto</b>

Figura 97: Comprobación de los pasadores en grúa de techo móvil.

Los pasadores se encuentran correctamente definidos y no precisan de corrección.

**PESO DEL CONJUNTO:**

El peso total de la estructura de esta grúa es de 207.11 Kg. sin las ruedas.



## 6. OPTIMIZACIONES.

### 6.1. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL PARA ELEVACIÓN Y TRASLADO CON ACTUADOR LINEAL.

Una vez simulada la grúa y obtenidos los resultados estudiamos las partes en las que se han obtenido tensiones, desplazamientos y deformaciones máximas. En el caso de que las modificaciones necesarias en las piezas no perjudiquen al funcionamiento de la grúa procedemos a remodelarlas.

1) Para esta primera grúa hemos visto como la zona más conflictiva era la que unía las patas a la base por ello realizamos una primera remodelación de la manera siguiente:

- Aumentamos el espesor de la pata en la zona del saliente de unión a la base pasando de  $e=7\text{mm}$  a  $e=14\text{mm}$ .
- Realizamos un redondeo en la arista que se forma al crear el saliente en la pata de  $r=10\text{mm}$ .
- Aumentar el espesor del perfil del mástil de  $e=4\text{mm}$  a  $e=6\text{mm}$

De esta manera obtenemos los siguientes resultados con las patas cerradas:

- Tensión máx.: 326.788 Mpa en la base.
- Desplazamiento máx.: 1.594 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.00084 en la base.
- Factor de seguridad mín.: 0.84 en base.

2) Las mejoras obtenidas son notablemente superiores, pero aun podemos intentar optimizar la grúa por lo que procedemos a realizar las siguientes mejoras:

- Aumentamos el espesor de la base e la zona de unión a las patas de  $e=5\text{mm}$  a  $e=10\text{mm}$
- Modificamos el redondeo en la arista que se forma al crear el saliente en la pata de  $r=10$  a  $r=15$ . (siendo este redondeo el máximo posible por geometría).

De esta manera obtenemos los siguientes resultados con las patas cerradas:

- Tensión máx.: 240.173 Mpa en la pata.
- Desplazamiento máx.: 0.86 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.0006781 en la base.
- Factor de seguridad mín.: 1.14 en pata.

3) Las mejoras obtenidas son notablemente superiores, pero aun podemos intentar optimizar la grúa por lo que procedemos a realizar las siguientes mejoras:

- Aumentamos el espesor de la base e la zona de unión a las patas de  $e=10\text{mm}$  a  $e=15\text{mm}$ . (siendo este espesor el máximo posible por geometría).
- Aumentamos el espesor en las patas en el saliente de unión a la base de  $e=14\text{mm}$  a  $e=20\text{mm}$ . (siendo este espesor el máximo posible por geometría).

De esta manera obtenemos los siguientes resultados con las patas cerradas:

- Tensión máx.: 135.743 Mpa en la pata.
- Desplazamiento máx.: 0.5952 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.0004249 en la base.
- Factor de seguridad mín.: 2.03 en pata.

De manera que conseguimos el modelado óptimo para esta grúa ya que por geometría ya no podemos modificar nada de la zona de unión de las patas y la base y obtenemos unos resultados que demuestran el correcto dimensionamiento de la misma.

### Tensión de Von Mises optimizado:

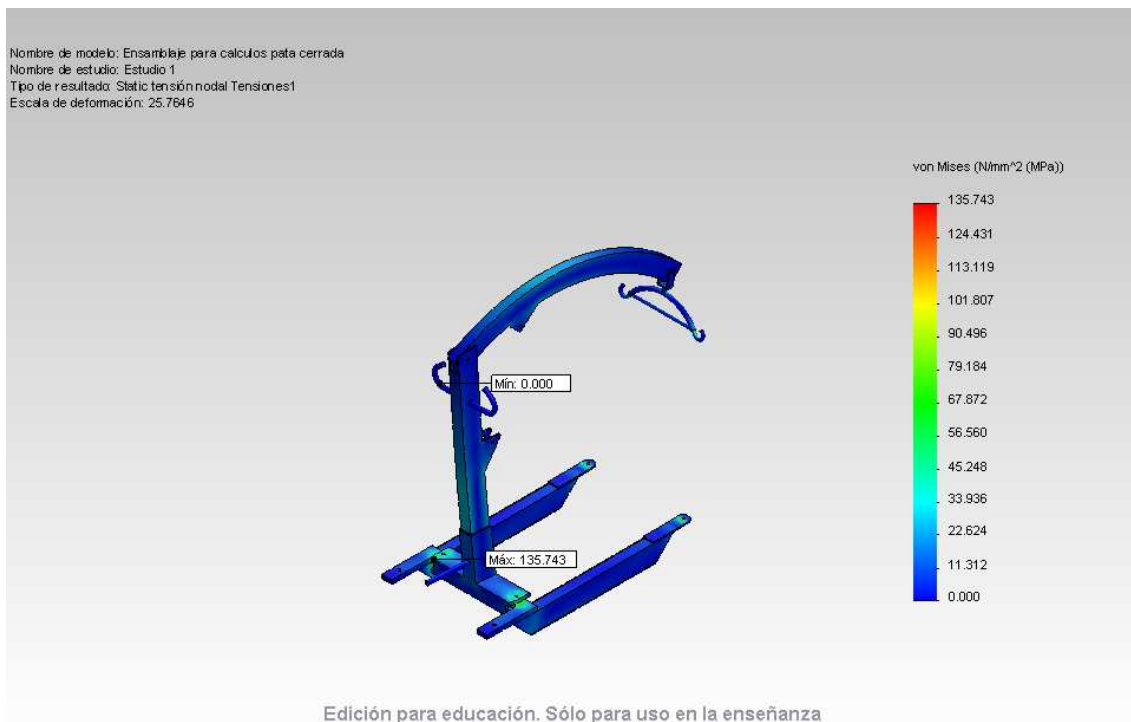


Figura 98: Tensión de Von Mises optimizada con patas cerradas.

### Desplazamientos optimizados:

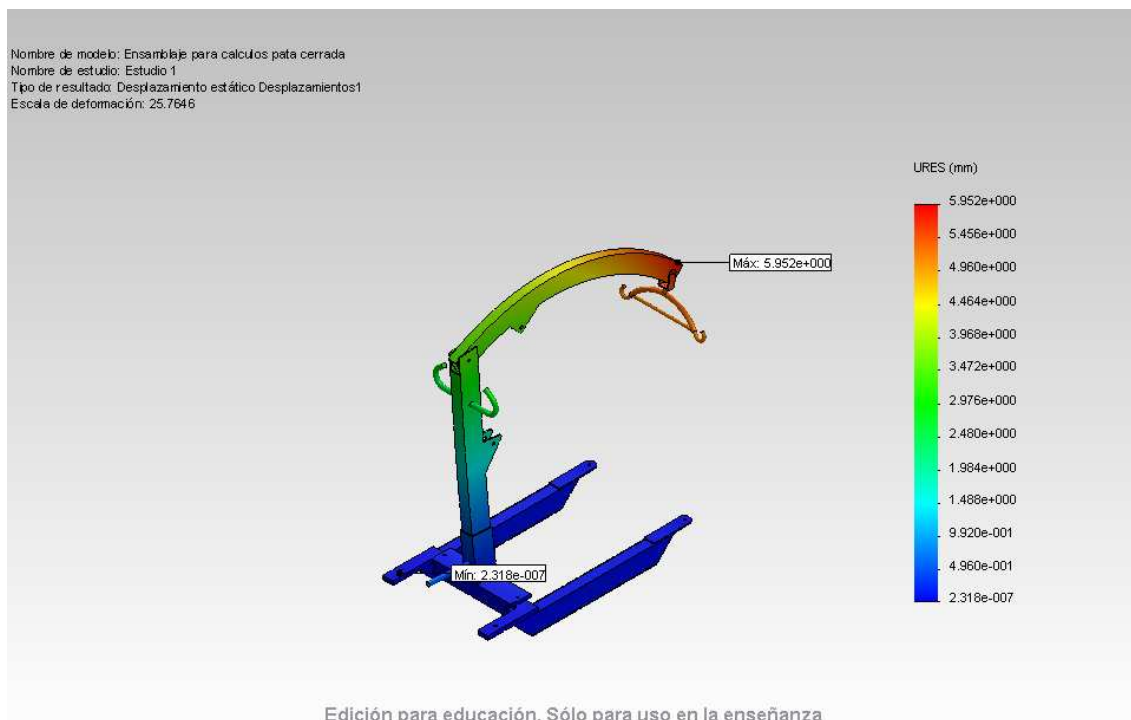


Figura 99: Desplazamientos optimizados con patas cerradas.

### Deformaciones optimizadas:

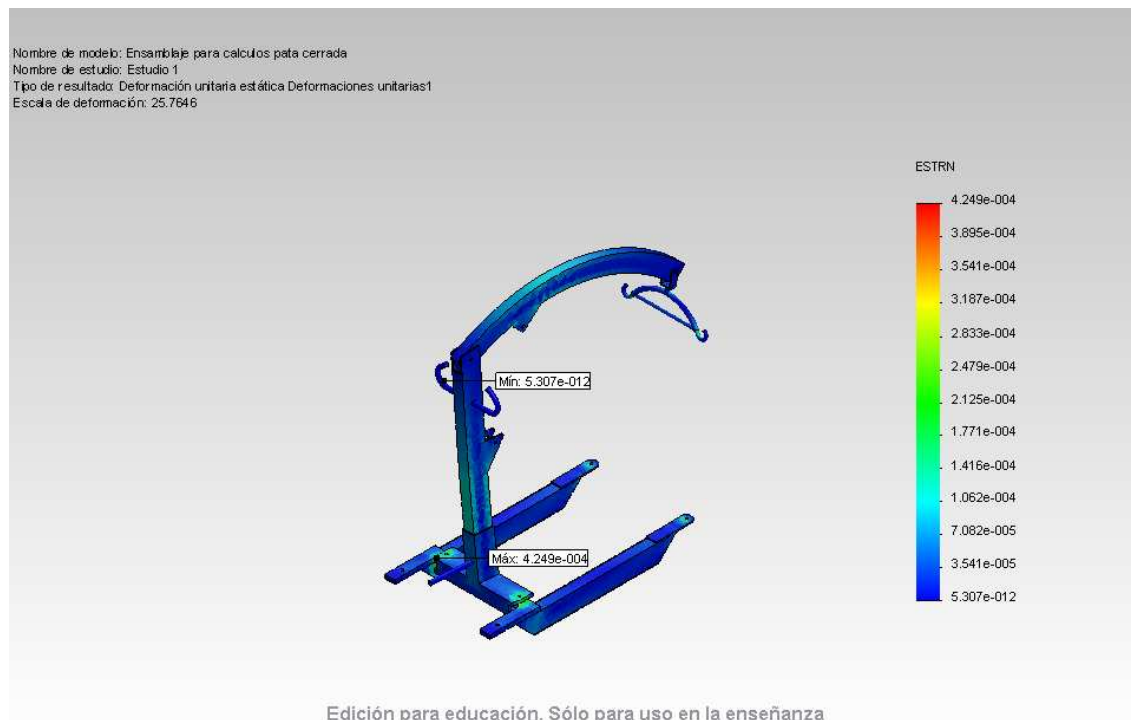


Figura 100: Deformaciones optimizadas con patas cerradas.

### Factor de seguridad optimizado:

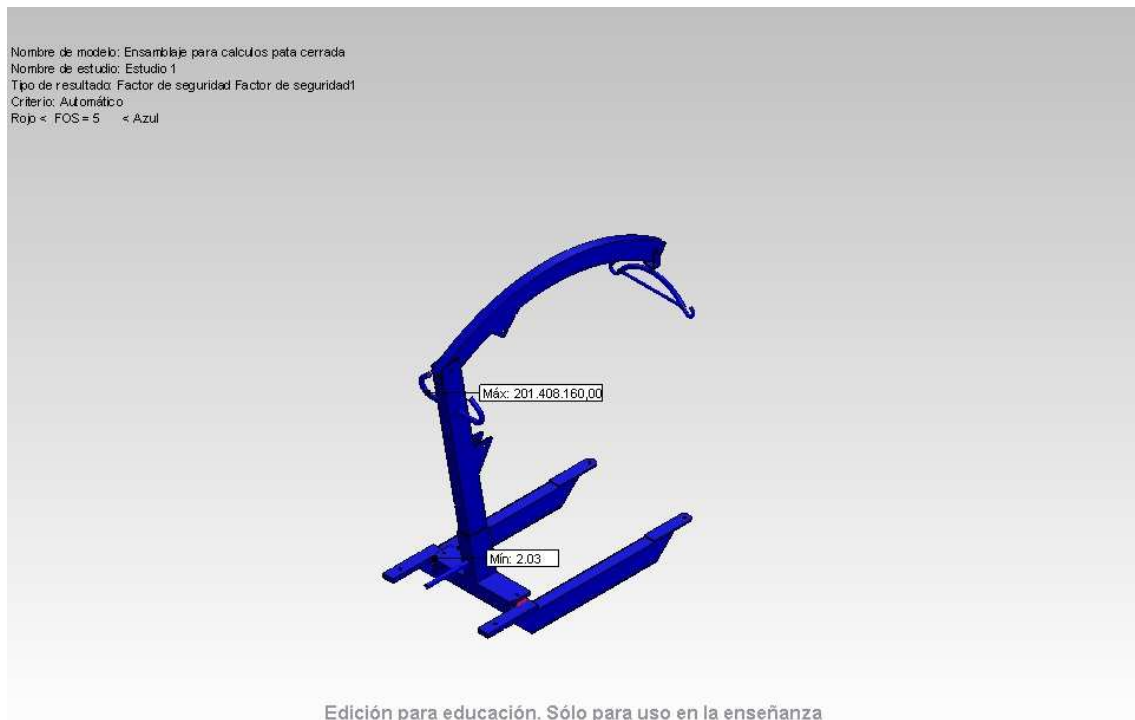


Figura 101: Factor de seguridad optimizado con patas cerradas.

### Comprobación de los pasadores:

CONECTOR	COMPROBACIÓN
Conector tipo pasador nº1	Correcto
Conector tipo pasador nº2	Correcto
Conector tipo pasador nº3	Correcto
Conector tipo pasador nº4	Correcto
Conector tipo pasador nº5	Correcto
Conector tipo pasador nº6	Correcto

Figura 102: Comprobación de los pasadores con patas cerradas.

Con las modificaciones en la geometría una vez las piezas han sido optimizadas obtenemos los siguientes datos para la simulación optimizada con las patas abiertas:

- Tensión máx.: 110.358 Mpa en la pata.
- Desplazamiento máx.: 0.5849 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.00032 en la base.
- Factor de seguridad mín.: 2.15 en pata.

### Tensiones de Von Mises optimizada:

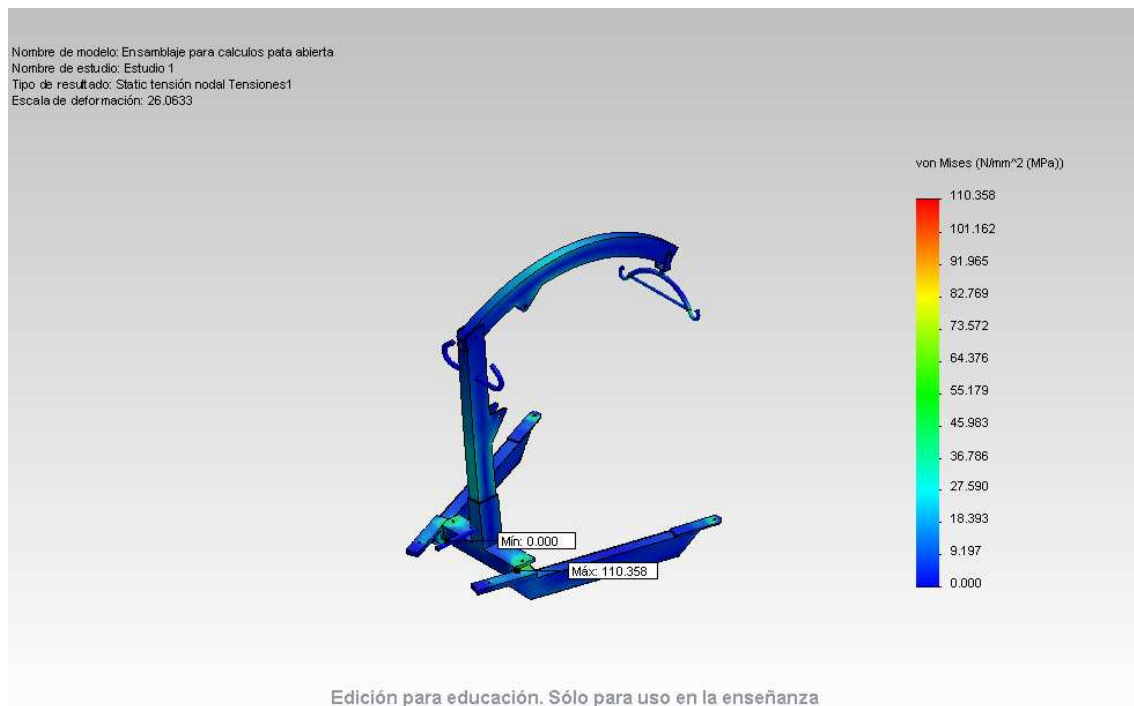


Figura 103: Tensión de Von Mises optimizada con patas abiertas.

### Desplazamientos optimizados:

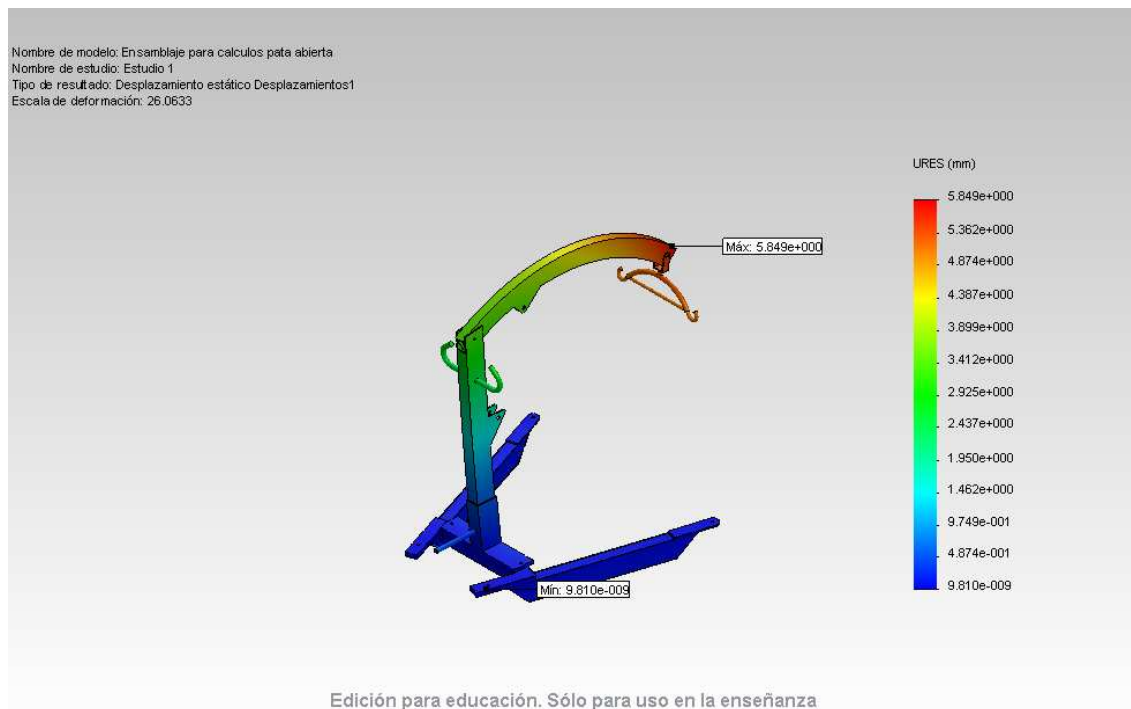


Figura 104: Desplazamientos optimizados con patas abiertas.

### Deformaciones optimizadas:

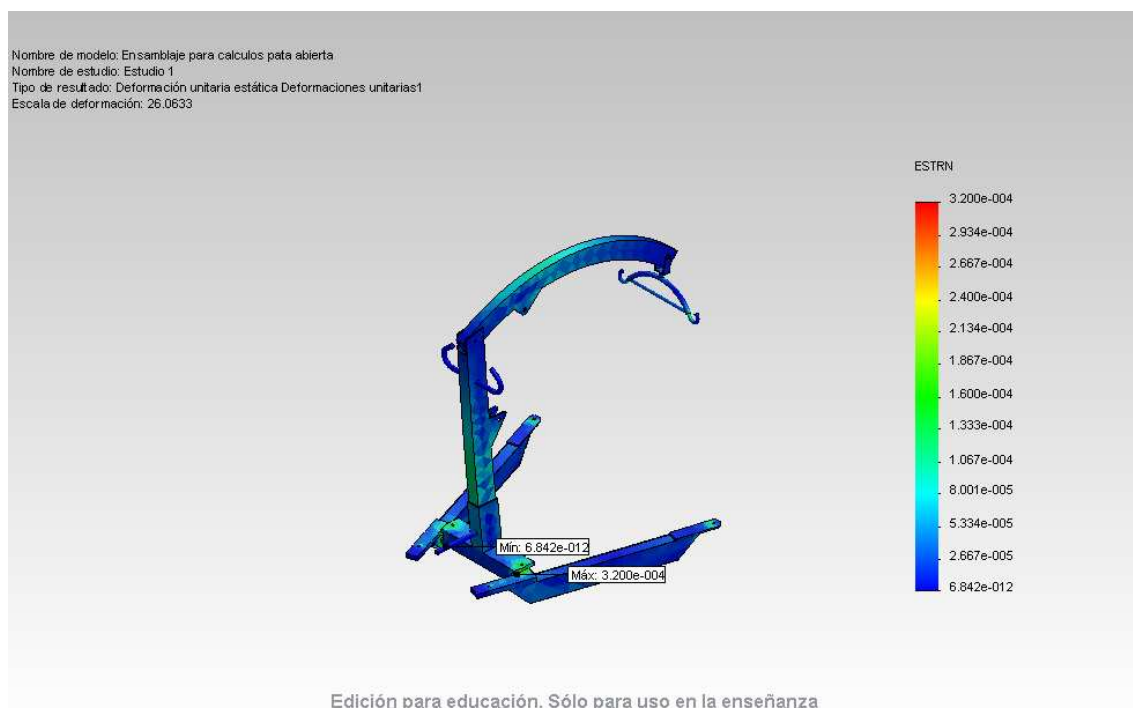


Figura 105: Deformaciones optimizadas con patas abiertas.

### Factor de seguridad optimizado:

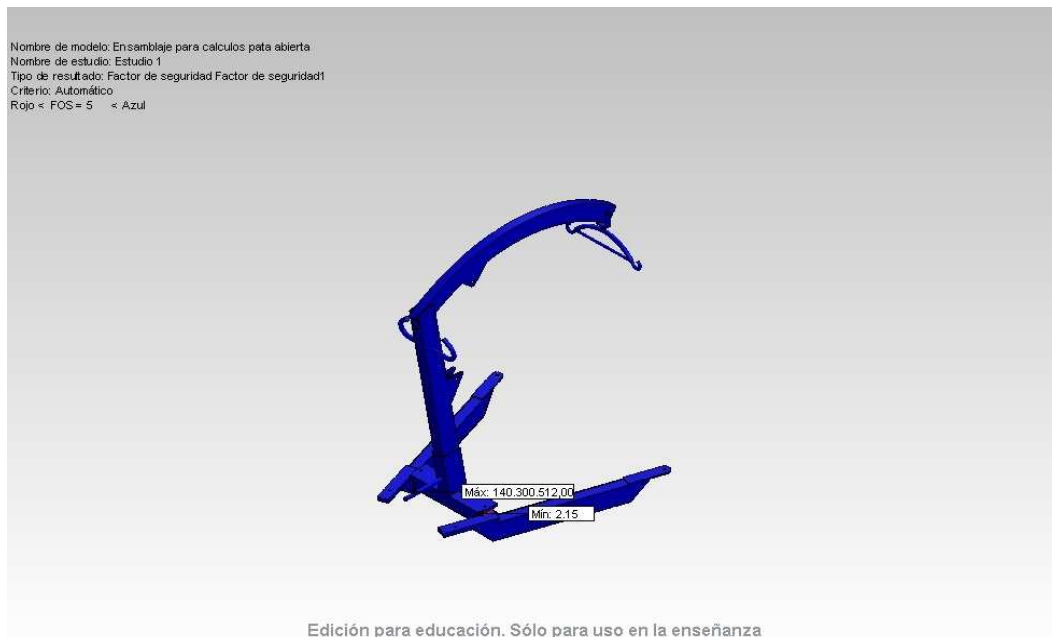


Figura 106: Factor de seguridad optimizado con patas abiertas.

### Comprobación de los pasadores:

CONECTOR	COMPROBACIÓN
Conector tipo pasador nº1	Correcto
Conector tipo pasador nº2	Correcto
Conector tipo pasador nº3	Correcto
Conector tipo pasador nº4	Correcto
Conector tipo pasador nº5	Correcto
Conector tipo pasador nº6	Correcto

Figura 107: Comprobación de los pasadores con patas abiertas.

## 6.2. GRÚA ORTOPÉDICA MÓVIL DE ELEVACIÓN Y TRASLADO CON CONLUMNA ELÉCTRICA.

Tras haber simulado la grúa y obtenidos los resultados estudiamos las partes en las que se han obtenido tensiones, desplazamientos y deformaciones máximas. En el caso de que las modificaciones necesarias en las piezas no perjudiquen al funcionamiento de la grúa procedemos a remodelarlas.

1) Para esta segunda grúa hemos visto como las zonas más conflictivas eran la que unía la base a la columna, el tornillo y zona de unión del brazo y la percha por ello realizamos una primera remodelación de la manera siguiente:

- Eliminamos orificios en la placa inferior de la columna.
- Aumentamos el espesor de las placas inferior y superior de la columna de  $e=10$  mm a  $e=20$  mm
- Aumentar el espesor de la base de  $e=10$  mm a  $e=20$  mm

De esta manera obtenemos los siguientes resultados con las patas cerradas:

- Tensión máx.: 211.957 Mpa en el carro-tornillo.
- Desplazamiento máx.: 2.215 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.0004883 en la base.
- Factor de seguridad mín.: 1.3 en base.

2) Las mejoras obtenidas son notablemente superiores, pero aun podemos intentar optimizar la grúa por lo que procedemos a realizar las siguientes mejoras:

- Modificamos la geometría de las placas superior e inferior a 100x100.

De esta manera obtenemos los siguientes resultados con las patas cerradas:

- Tensión máx.: 200.534 Mpa en el carro-raíl.
- Desplazamiento máx.: 2.206 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.0004871 en la base unión con la columna.
- Factor de seguridad mín.: 1.32 en base.

3) Aunque la grúa podría considerarse que esta optimizada considero que los espesores del brazo y la percha son insuficientes por lo que procedemos a realizar las siguientes mejoras:

- Aumentamos el espesor de la percha de diámetro= 45mm a diámetro=55 mm
- Aumentamos el espesor de el brazo de diámetro=35 mm a diámetro =45mm.

De esta manera obtenemos los siguientes resultados con las patas cerradas:



- Tensión máx.: 176.801 Mpa en el carro raíl.
- Desplazamiento máx.: 2.124 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.0004751 en carro-tornillo.
- Factor de seguridad mín.: 1.44 en base.

De manera que conseguimos el modelado óptimo para esta grúa. Aunque pudiéramos obtener un factor de seguridad mayor para el conjunto el dimensionado de la estructura mejor si consideramos espesores mayores para la percha y el brazo.

### Tensión de Von Mises optimizado:



Figura 108: Tensión de Von Mises patas cerradas optimizada

### Desplazamientos optimizados:

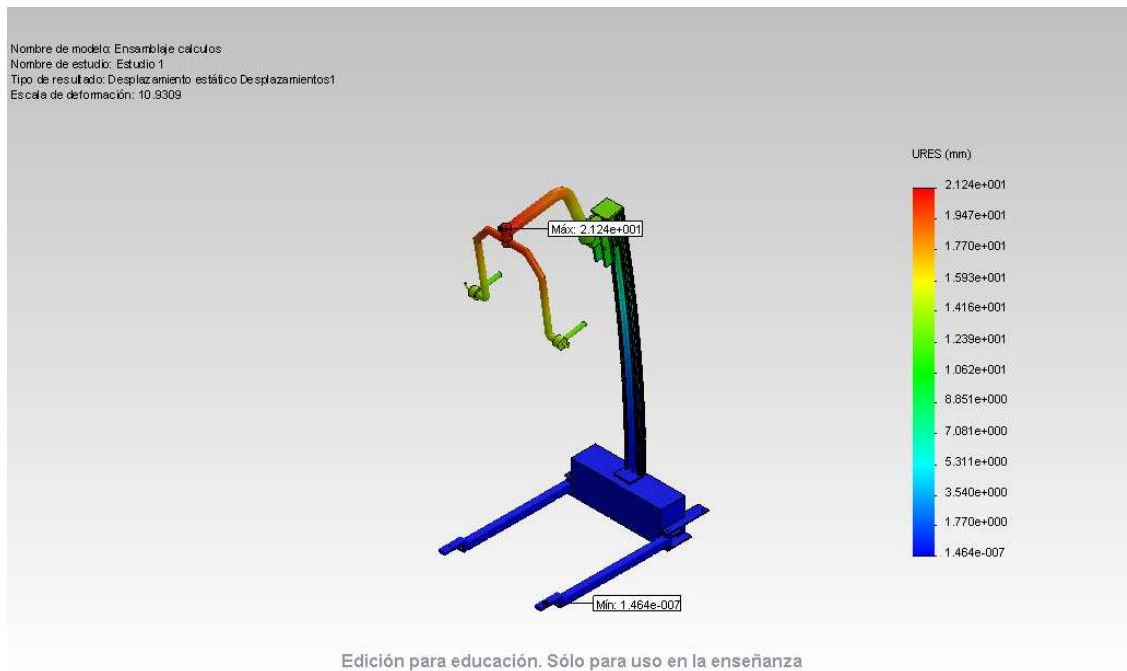


Figura 109: Desplazamientos patas cerradas optimizada

### Deformaciones optimizadas:

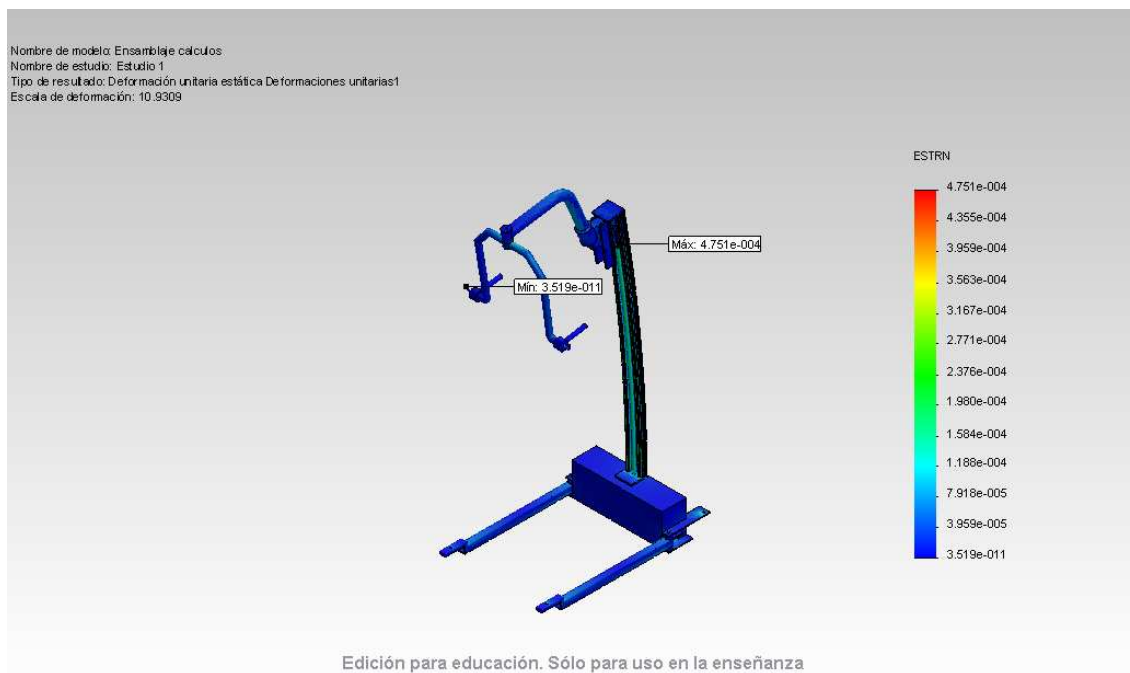


Figura 110: Deformaciones patas cerradas optimizada

**Factor de seguridad optimizado:**

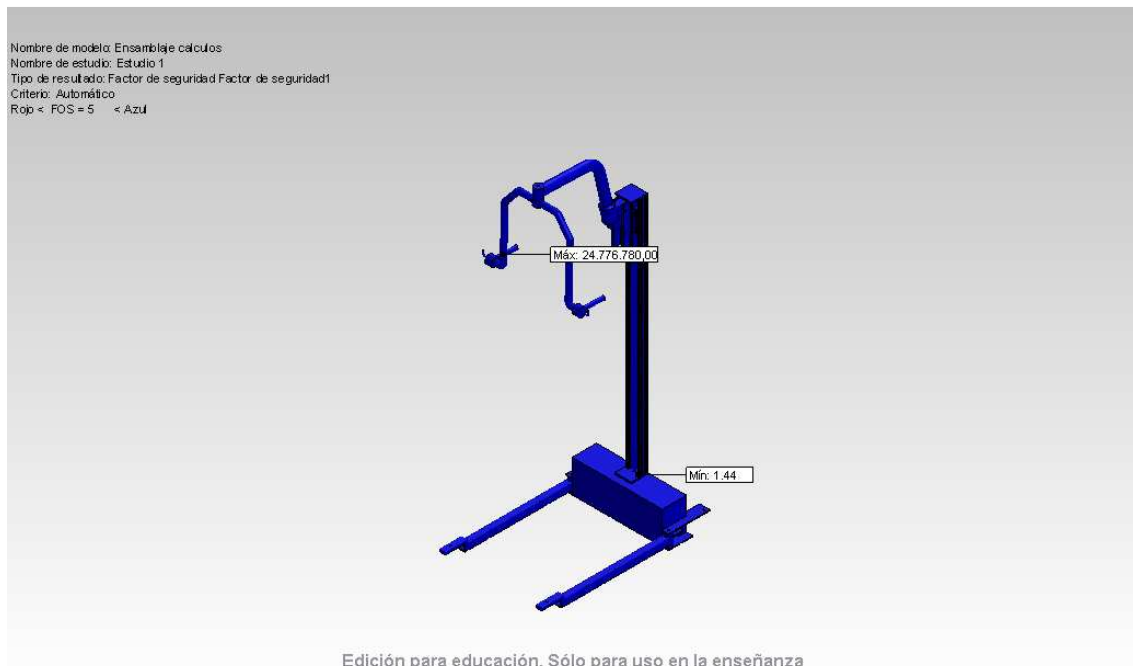


Figura 111: Factor de seguridad pata cerrada optimizada

**Comprobación de los pasadores:**

CONECTOR	COMPROBACIÓN
Conector tipo pasador n°1	Correcto
Conector tipo pasador n°2	Correcto
Conector tipo pasador n°3	Correcto
Conector tipo pasador n°4	Correcto
Conector tipo pasador n°5	Correcto
Conector tipo pasador n°6	Correcto

Figura 112: Comprobación de los pasadores en patas cerradas optimizadas

Una vez obtenemos las piezas optimizadas, pasamos a observar los resultados de la grúa optimizada con las patas abiertas.

- Tensión máx.: 227.120 Mpa en el carro raíl.
- Desplazamiento máx.: 2.123 mm en el brazo.
- Deformación máx.: 0.0003733 en el carro tornillo.
- Factor de seguridad mín.: 1.21 en base.

### Tensiones de Von Mises optimizada:

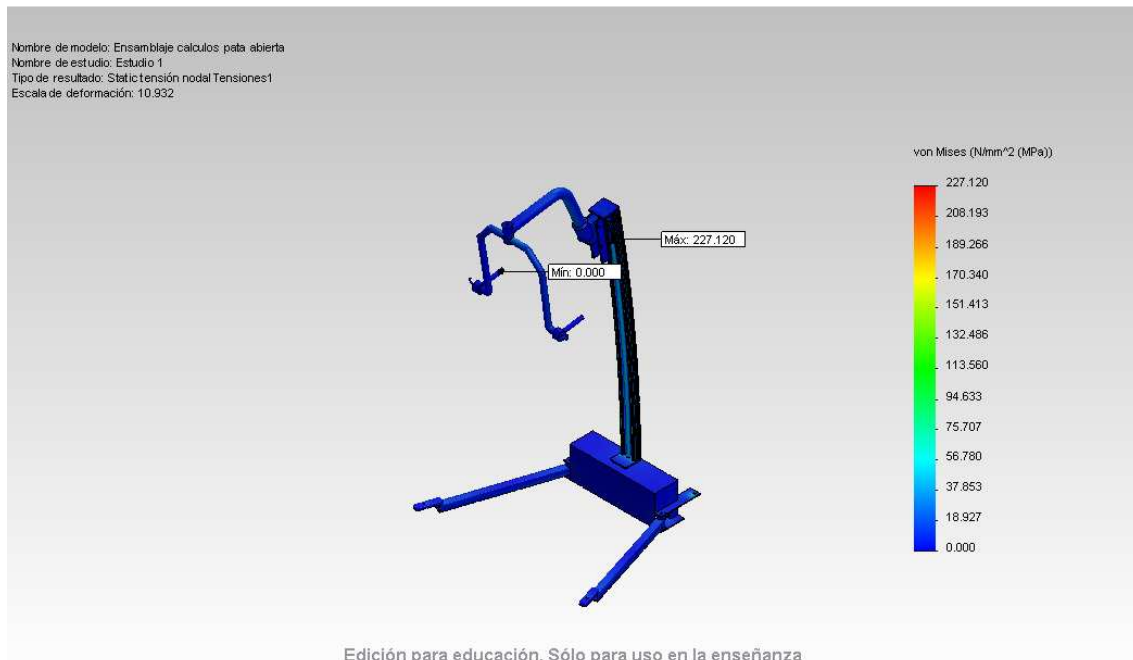


Figura 113: Tensión de Von Mises en patas abiertas optimizada

### Desplazamientos optimizados:

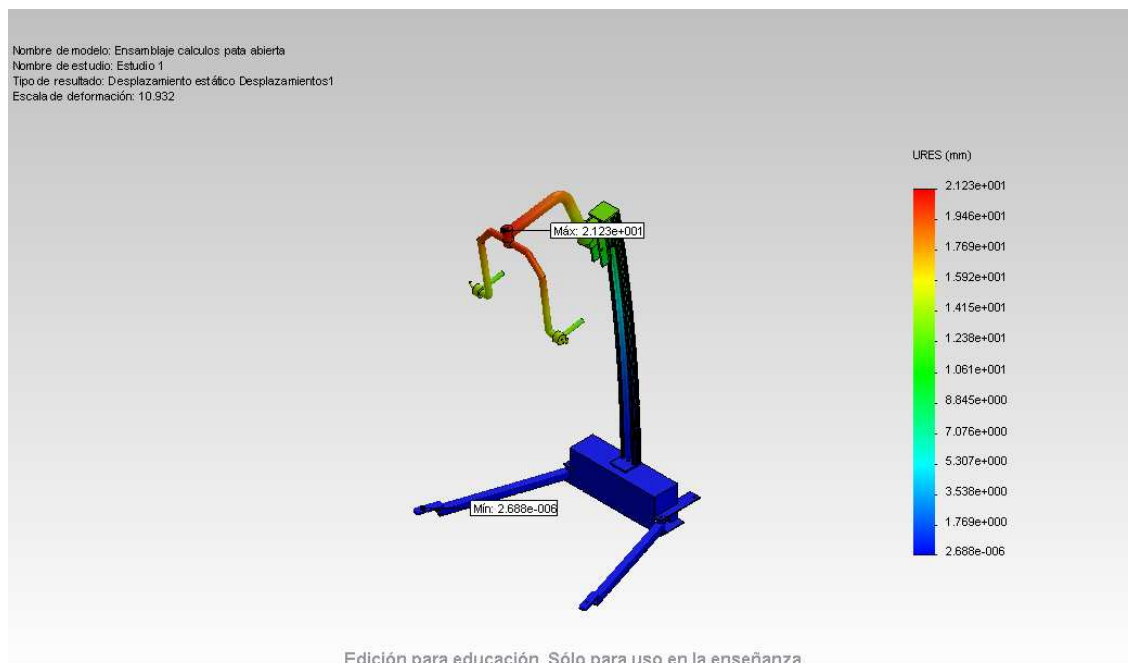


Figura 114: Desplazamientos en patas abiertas optimizadas

### Deformaciones optimizadas:

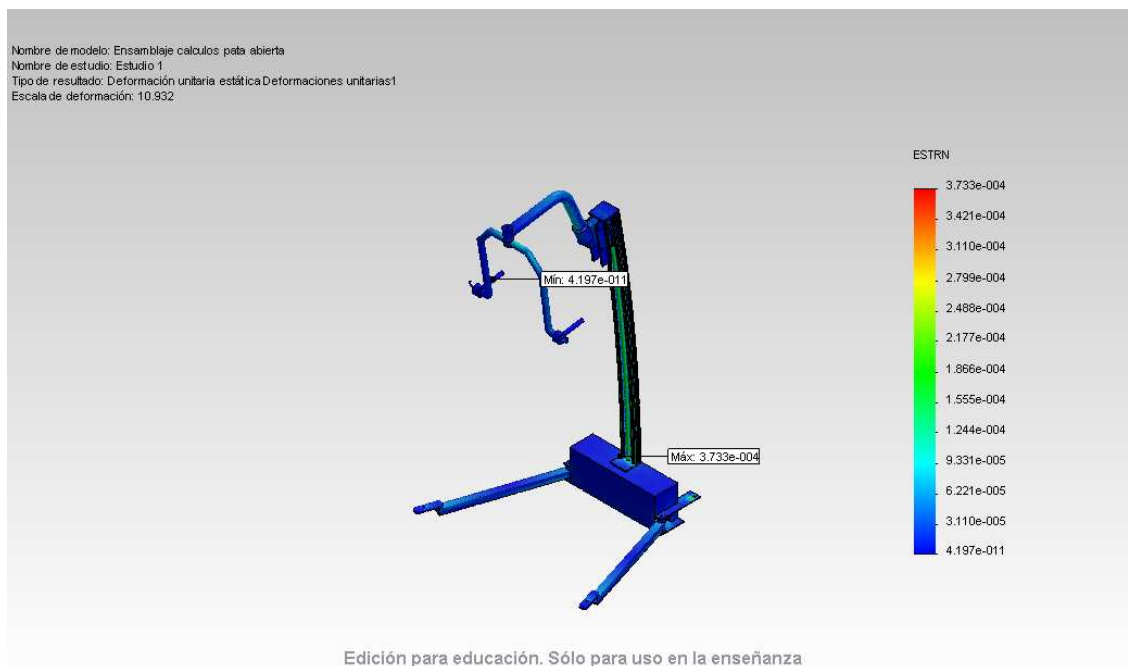


Figura 115: Deformaciones en patas abiertas optimizadas

### Factor de seguridad optimizado:

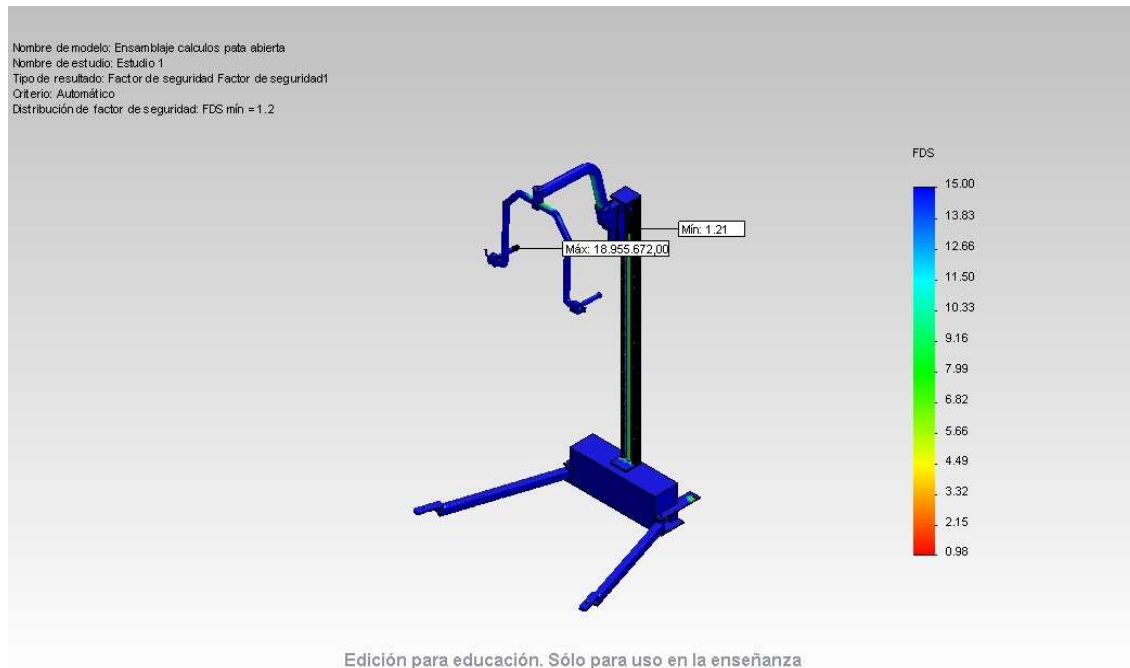


Figura 116: Factor de seguridad en patas abiertas optimizadas

### Comprobación del factor de seguridad:

CONECTOR	COMPROBACIÓN
Conector tipo pasador nº1	Correcto
Conector tipo pasador nº2	Correcto
Conector tipo pasador nº3	Correcto
Conector tipo pasador nº4	Correcto
Conector tipo pasador nº5	Correcto
Conector tipo pasador nº6	Correcto

Figura 117: Comprobación de los pasadores en patas abiertas optimizadas

### 6.3. GRÚA ORTOPÉDICA DE TECHO MÓVIL.

Tras haber simulado la grúa y obtenidos los resultados estudiamos las partes en las que se han obtenido tensiones, desplazamientos y deformaciones máximas. En el caso de que las modificaciones necesarias en las piezas no perjudiquen al funcionamiento de la grúa procedemos a remodelarlas.

1) Para esta tercera y última grúa hemos visto como las zonas más conflictivas eran las pertenecientes a la percha, por ello realizamos una primera remodelación de la manera siguiente:

- Aumentamos espesores de los perfiles circulares en la percha.

De esta manera obtenemos los siguientes resultados:

- Tensión máx.: 20.921 Mpa en el raíl.
- Desplazamiento máx.: 0.4011 mm en la percha.
- Deformación máx.: 0.00006418 en el raíl.
- Factor de seguridad mín.: 13.14 en base.

2) La grúa es muy rígida y está lo suficientemente optimizada, por ello pasamos a reducir material, para que pese menos.

- Reducir espesor de la pata de  $e=5\text{mm}$  a  $e=3\text{mm}$ .
- Reducir espesor del pilar de  $e=4\text{mm}$  a  $e=3\text{ mm}$ .

De esta manera obtenemos los siguientes resultados:

- Tensión máx.: 20.93 Mpa en la percha.
- Desplazamiento máx.: 0.420 mm en la percha.
- Deformación máx.: 0.00006418 en la percha.
- Factor de seguridad mín.: 13.14 en la percha.

De manera que conseguimos el modelado óptimo para esta grúa.

### Tensión de Von Mises optimizado:

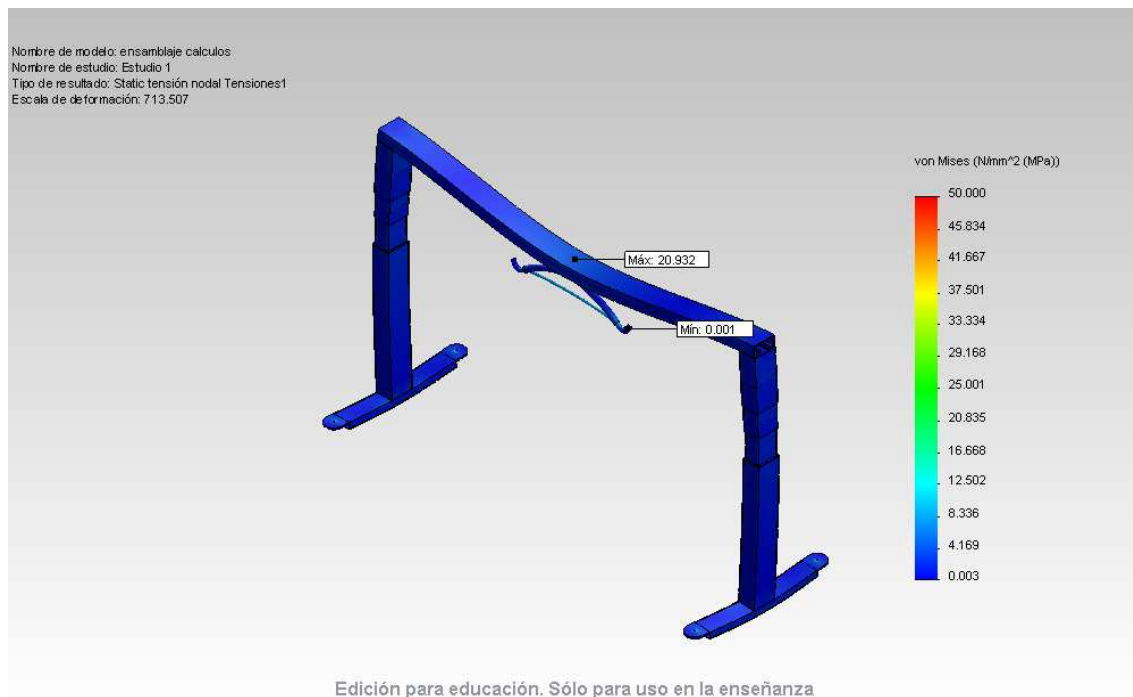


Figura 118: Tensión de Von Mises en grúa de techo optimizada

### Desplazamientos optimizados:

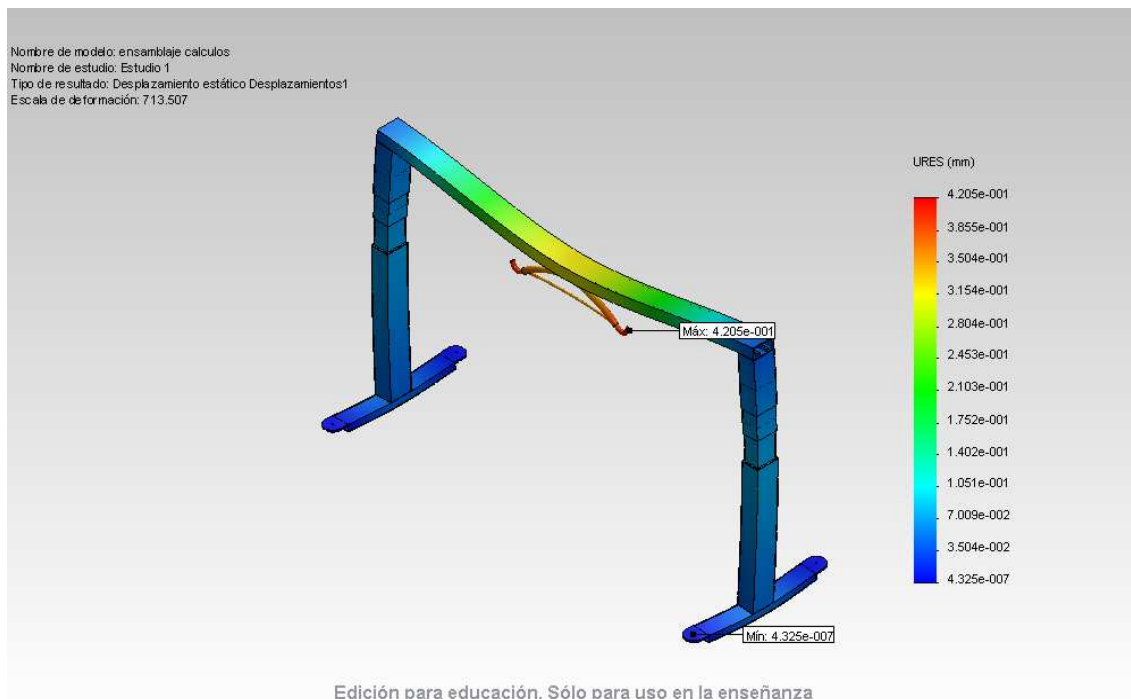


Figura 119: Desplazamientos en grúa de techo optimizada



### Deformaciones optimizadas:

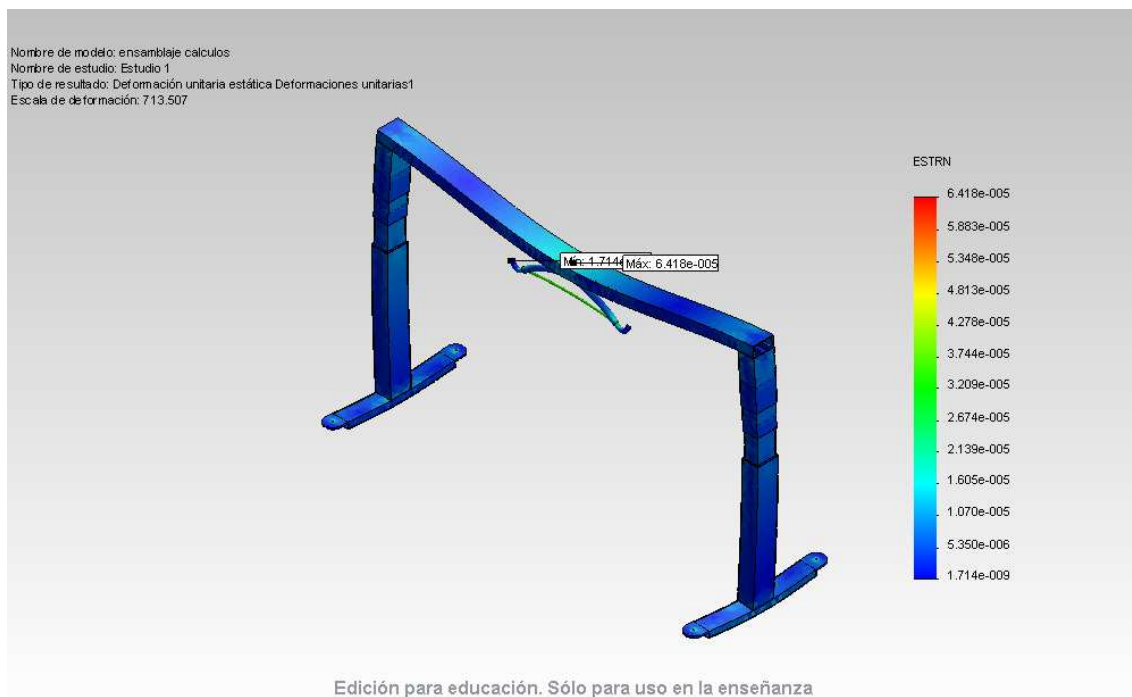


Figura 120: Deformaciones en grúa de techo optimizada

### Factor de seguridad optimizado:

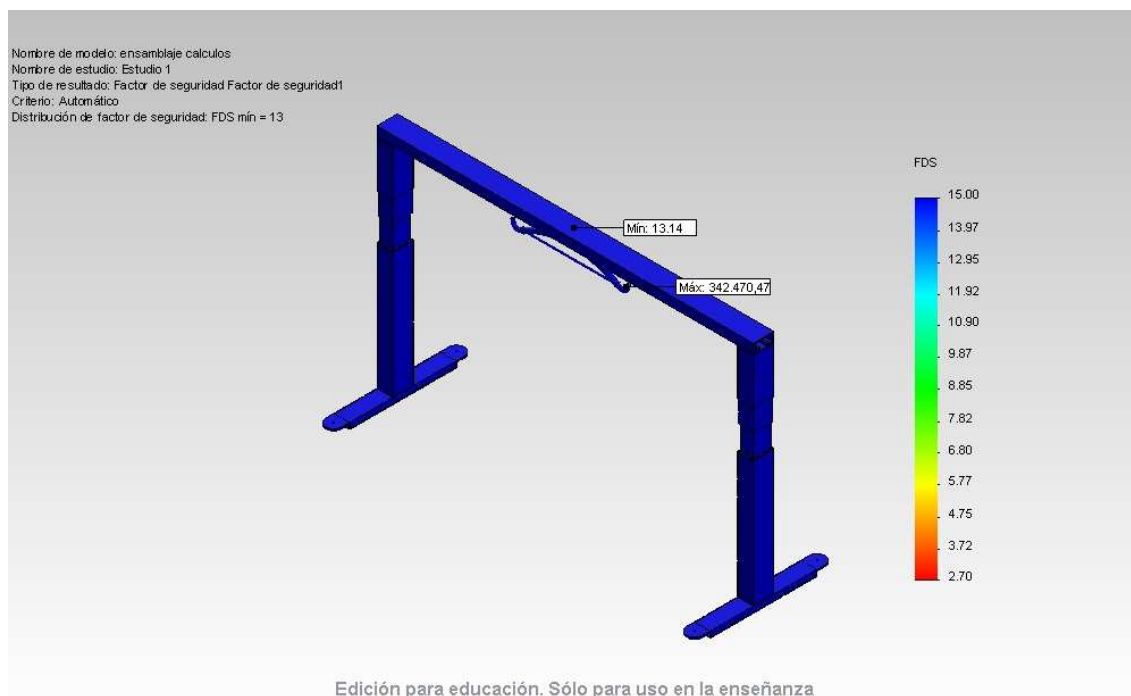


Figura 121: Factor de seguridad en grúa de techo optimizada

**Comprobación de los pasadores:**

<b>CONECTOR</b>	<b>COMPROBACIÓN</b>
Conector tipo pasador nº1	<b>Correcto</b>
Conector tipo pasador nº2	<b>Correcto</b>

Figura 122: Comprobación de los pasadores en grúa de techo optimizada

## 7. COMPARACIÓN RESISTENTE DE LAS TRES GRÚAS DISEÑADAS.

En este último apartado estudiaremos el comportamiento resistente de cada una de las grúas simuladas, tanto en las posiciones de patas abiertas como cerradas en caso de que puedan cambiar la posición de las mismas.

Realizaremos una comparación de una gran variedad de aspectos como puede ser el peso, uniones, forma de trabajo, dimensionado, etc. Por ello la carga elegida ha sido en todas la misma: 100 kg.

Una vez finalizada la comparación podremos decir las ventajas o inconvenientes generales que tiene cada una de ellas y podremos concretar el uso correcto que debemos dar a cada una.

### 7.1. COMPARACIONES EN EL DIMENSIONAMIENTO.

#### 7.1.1. Peso.

El peso es un aspecto importante a la hora de diseñar cualquier estructura y más en concreto una grúa. Por un lado vemos que una reducción en el uso de material y por lo tanto en el peso de la grúa, equivale a un precio más reducido o a un aumento en los beneficios, por lo que es una de las prioridades a tener en cuenta.

Por otro lado, las tres grúas diseñadas son móviles, es decir un operario deberá trasladarlas por la habitación gracias a unas ruedas instaladas en las patas y debe ser capaz de trasladar tanto el peso de la grúa como el del paciente. Por este motivo el peso total de la grúa no puede ser muy elevado.

TIPO DE GRÚA	MASA (Kg)
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal.	53.36
Grúa de elevación y traslado con columna elevadora.	109.77
Grúa de techo móvil	207.11

Figura 123: Comparación de masas

❖ (Estas masas se han calculado sin las ruedas y los elementos de unión)

Hay un aumento significativo de la primera grúa a la segunda y la tercera. El peso nos da una idea muy clara del emplazamiento donde se va a dar uso a las grúas.

Como vemos en la figura 122, la grúa de elevación y traslado con actuador lineal es la que menos masa tiene. Este tipo de grúas son muy útiles para recorrer grandes distancias como puede ser trasladarse de habitación en habitación o recorrer pasillos de hospitales. Además, al ser las menos pesadas hacen más fácil su traslado a hogares.

La grúa de techo como era lógico es la más pesada. Esto se debe a que es la más grande. Por ello estas grúas se colocan en la situación en la que realizan su uso habitualmente y no se suelen desplazar, aunque con la opción de las ruedas sea capaz de trasladarse a otra posición en el caso de que sea necesario.

La grúa de elevación y traslado con columna eléctrica tiene una masa intermedia entre la grúa con actuador lineal y la grúa de techo y eso hace que su uso este a medio camino entre las dos. Este tipo de grúas son útiles cuando el paciente no está totalmente impedido y puede dar pasos pero no mantener la postura erguida, por ello se usan para moverse dentro de una misma habitación o tener acceso al baño, pero no suelen usarse para recorrer mayores distancias.

### **7.1.2. Altura, longitud y anchura.**

A la hora de diseñar una grúa ortopédica se ha de tener en cuenta cómo ha de realizar su función y en que posiciones se puede encontrar el paciente para abarcar el máximo de posibilidades.

Algo a tener en cuenta en las grúas ortopédicas de traslado es que deben ser capaces de atravesar pasillos o de entrar en habitaciones. Además deben estar correctamente dimensionadas para que una silla de ruedas pueda situarse debajo de la percha o que el brazo pueda llegar hasta la mitad de una cama.

TIPO DE GRÚA	ALTURA MÁX. (mm)	LONGITUD (mm)	ANCHURA (mm)
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal y patas cerradas.	1800	1099	495
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal y patas abiertas.	1800	987.3	950.6
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica y patas cerradas.	2035	1060	633
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica y patas abiertas.	2035	983.5	1100.5
Grúa de techo móvil.	1879	3000	1100

Figura 124: Comparación de dimensiones.

#### **Dimensiones mayores:**

Como vemos en la figura 124, las grúas tienen dimensiones muy diferentes entre ellas. La grúa ortopédica de techo tiene la longitud mayor junto con una anchura y altura elevadas, aunque la anchura viene dada por las patas que apenas tienen altura y el resto de la estructura realmente tiene una anchura de 164 mm.

La grúa ortopédica con columna eléctrica es la que tiene la mayor altura. El resto de sus dimensiones también son elevadas para que la estructura esté proporcionada.

Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica y patas abiertas proporciona la mayor anchura de 1100.5 mm y la menor longitud.

#### **Dimensiones menores:**

La menor altura máxima la tiene la grúa de elevación y traslado con actuador lineal con 1800 mm.

La menor longitud como hemos dicho antes la tiene la grúa de elevación y traslado con columna eléctrica y patas abiertas y es de 983.5 mm.

Y por último la menor anchura la proporciona la grúa de elevación y traslado con actuador lineal y es de 496 mm, aunque hay que decir que la grúa de techo en la mayor parte de su longitud sólo tiene una anchura de 164 mm.

Como resumen diremos que la grúa de elevación y traslado con actuador lineal tiene las menores dimensiones en conjunto, la grúa de techo es la que más longitud proporciona junto con una anchura relativa (sin las patas) pequeña y la grúa de elevación y traslado con columna eléctrica tiene unas dimensiones mayores que la grúa con actuador lineal y es la que mayor altura proporciona.

### 7.1.3. Longitud del brazo.

La longitud del brazo es la distancia que hay desde la percha al cuerpo de la estructura que en el caso de la grúa ortopédica con actuador lineal es el pilar, en la grúa ortopédica con columna eléctrica es la propia columna y en el caso de la grúa ortopédica de techo será una de las patas.

Es una medida que hay que tener en cuenta porque dependiendo de la longitud será capaz de acceder a más lugares y por lo tanto dar mejor servicio.

TIPO DE GRÚA	DISTANCIA (mm)
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal.	<b>1025.132</b>
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica.	<b>500</b>
Grúa de techo móvil.	<b>1374</b>

Figura 125: Comparación de dimensiones.

Podemos apreciar que la grúa ortopédica de elevación y traslado, que como sabemos tiene las menores dimensiones, tiene una longitud del brazo mayor al resto, por lo que proporciona unas condiciones de uso óptimas.

Otro dato a tener en cuenta de los observados en la figura 125 es que la grúa de techo tiene una longitud de brazo grande, y esto es porque la percha se puede desplazar a lo largo de un carril de 3000 mm, pero hay que tener en cuenta que hay que posicionar debajo del raíl una cama y una silla de ruedas por lo que esta dimensión es la máxima desde la que elevar al paciente.

#### 7.1.4. Carrera.

El movimiento principal que han de realizar las grúas ortopédicas es la elevación y descenso del brazo junto a su percha. Por ello es importante estudiar y comparar la carrera que es capaz de realizar cada una de estas grúas al desplazar la percha verticalmente.

TIPO DE GRÚA	CARRERA (mm)
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal.	800
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica.	1475
Grúa de techo móvil.	350

Figura 126: Comparación de la carrera.

La grúa con la mejor carrera es la grúa de elevación y traslado con columna eléctrica como apreciamos en la tabla 126. Esta carrera se efectúa desde una posición cercana a la base hasta el final de la columna y por lo tanto puede recoger al paciente desde casi cualquier altura en la que se sitúe al iniciar la elevación o depositarlo en alturas muy bajas en caso de ser necesario.

La grúa de elevación y traslado con actuador lineal como hemos visto antes tiene una longitud de brazo óptima, pero no tiene una longitud de carrera grande por lo que se ve limitada a la hora de elevar al paciente desde algunas alturas.

Por último la grúa de techo móvil tiene la menor longitud de carrera siendo esta de 350 mm, porque no necesita grandes desplazamientos verticales ya que siempre elevará al paciente desde una cama y la altura ya se la da el pilar.

## 7.2. COMPARACIONES EN EL FUNCIONAMIENTO.

### 7.2.1 Elementos eléctricos usados para elevar el brazo.

Se han diseñado estas tres grúas ortopédicas de modo que cada una de ellas cuente con un elemento de elevación o generador de fuerza diferente para poder compararlos entre sí. De esta forma tenemos un actuador lineal, una columna eléctrica con un tornillo sin fin y un par de columnas elevadoras que esta accionadas mediante actuadores lineales verticales.

ELEMENTO	FUERZA MÁX. (N)	DIRECCIÓN DE LA FUERZA	FORMA DE ALIMENTACIÓN
Actuador lineal	12000 (Tracción)	Oblicua	Baterías
Columna eléctrica	20000	Vertical	Motor con baterías
Columna elevadora	2000 cada una	Vertical	Baterías

Figura 127: Comparación de la los elementos eléctricos.

**Por un lado tenemos la comparación entre las fuerzas que ejerce cada una:**

La columna elevadora es la que menos fuerza ejerce sobre la estructura y como consta de dos columnas la fuerza total es de 4000 N.

La columna eléctrica es la que más fuerza es capaz de ejercer sobre el brazo.

**Por otro lado tenemos la comparación del lugar en el que se ejerce esa fuerza y que dirección toma:**

El actuador lineal actúa entre el pilar y el brazo de forma que el brazo realice un giro mientras la percha se eleva o desciende. Tiene una fuerza de tracción que se aplica con una inclinación de  $77.54^\circ$  respecto al brazo de modo que tendremos una componente en X y otra en Y.



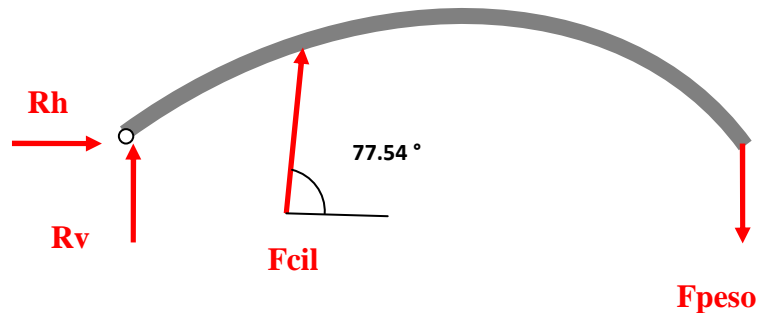


Figura 128: Diagrama de la dirección de la  $F_{cil}$ .

Por otro lado tenemos las fuerzas de las columnas elevadoras que ejercen la fuerza entre el pilar y el raíl y la fuerza de la columna eléctrica que ejerce la fuerza sobre el carro que recorre el tornillo y ambas son fuerzas verticales.

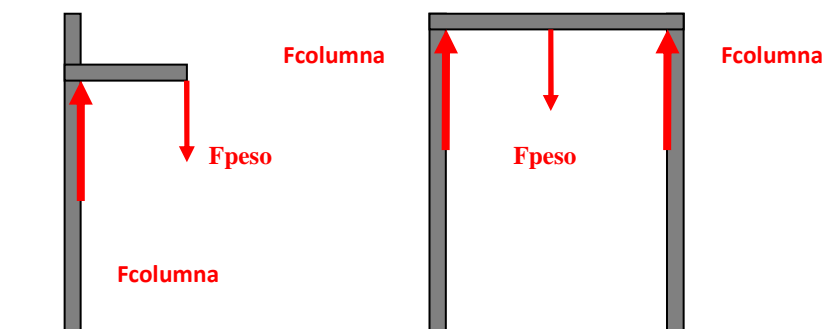


Figura 129: Diagrama de la dirección de la  $F_{columna}$ .

### 7.2.2. Movimiento de diferentes partes.

Dos de las grúas ortopédicas diseñadas además de realizar movimientos de elevación o descenso de la percha son capaces de mover las patas para que formen un ángulo entre sí. La tercera grúa es capaz de proporcionar a la percha tanto el movimiento vertical de elevación y descenso como uno horizontal al deslizarse por el carril.

En la siguiente tabla mostramos la comparación entre estas tres grúas y sus posibilidades de movimiento:

TIPO DE GRÚA	ABRIR O CERRAR PATAS	ELEVACIÓN DE LA PERCHA	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE LA PERCHA
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal.	SI	SI	NO
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica.	SI	SI	NO
Grúa de techo móvil.	NO	SI	SI

Figura 130: Tabla comparativa de los movimientos de las grúas.

### 7.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CÁLCULO ESTÁTICO.

#### 7.3.1. Tensiones de Von Mises máximas.

TIPO DE GRÚA	VALOR DE LA TENSION (MPa)	SITUACIÓN DEL MÁX.
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas cerradas.	135.743	Pata
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas abiertas.	110.358	Pata
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas cerradas.	176.801	Carro-tornillo
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas abiertas.	227.12	Carro-tornillo
Grúa de techo móvil.	20.93	Unión percha-raíl

Figura 131: Tabla comparativa de las tensiones de Von Mises.

El estudio de las tensiones de Von Mises nos aporta mucha información de carácter resistente sobre las estructuras. Esta tensión representa el estado de tensiones principales cuando la tensión efectiva alcanza el valor del límite de fluencia y se produce la fluencia del material.

**Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con actuador lineal con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

En esta comparación podemos observar con claridad como para una misma grúa la posición de sus piezas influye de manera importante en las tensiones máximas obtenidas. Al posicionar las patas de manera que se forme un ángulo entre ellas y por tanto queden abiertas, estamos dando más estabilidad a la estructura al permitir que las fuerzas generadas por el actuador lineal y por el peso de distribuyan a las patas mejor que si están cerradas. Por tanto la distribuir las fuerzas hacia las patas y al suelo de una manera mejor reducimos la tensión que se genera en esta zona haciendo que la distribución de tensiones de Von Mises sea menor.

**Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con columna eléctrica con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

Por el contrario que en la comparación anterior, en esta grúa vemos como el posicionar las patas de forma que estén abiertas aumenta la tensión de Von Mises en lugar de reducirla. Esto se debe principalmente a las dimensiones de la grúa, es decir, como la longitud del brazo de la grúa es pequeña y la columna eléctrica es alta se produce una flexión hacia delante de estos dos elementos por acción de la carga. Por ello encontramos la máxima tensión en el tornillo en vez de en la base, luego al abrir las patas perdemos longitud en la estructura que hace que el tornillo tenga que absorber más tensión para estabilizar la estructura.

### Comparación de las tres grúas:

En la tabla comparativa se aprecia un gran salto en el valor de la tensión de Von Mises de las dos primeras grúas respecto de la tercera. Era lógico que obtengamos un valor tan pequeño en la tensión de la grúa de techo ya que es una estructura muy rígida, tanto que apenas encontramos tensiones en la mayoría de las piezas que la forman y solo se aprecia tensión en la grúa, el raíl y el eje de unión entre estos elementos.

Las dos primeras grúas tienen valores de tensiones similares, siendo mayores los de la grúa ortopédica con columna eléctrica ya que esta grúa también es mayor.

### 7.3.2. Desplazamientos máximos.

TIPO DE GRÚA	VALOR DEL DESPLAZAMIENTO MÁX. (mm)	SITUACIÓN DEL MÁX.
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas cerradas.	0.5952	Brazo
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas abiertas.	0.5849	Brazo
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas cerradas.	2.124	Brazo
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas abiertas.	2.123	Brazo
Grúa de techo móvil.	0.42	Percha

Figura 132: Tabla comparativa de los desplazamientos.

### **Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con actuador lineal con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

Como vemos al posicionar las patas de forma que estas estén abiertas conseguimos reducir el desplazamiento del brazo por acción de la carga colocada en la percha. Esta disminución se debe a que para ésta grúa, la apertura de patas proporciona una mayor estabilidad al conjunto que hace disminuir las tensiones y que hace que el conjunto adquiera la rigidez necesaria para disminuir 0.01 mm aproximadamente el desplazamiento aunque no es una diferencia muy llamativa.

### **Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con columna eléctrica con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

A diferencia de la comparación en las tensiones de Von Mises de esta misma grúa que aumentaba al abrir las patas por reducir la longitud total, en los desplazamientos disminuye el valor. La apertura de las patas siempre va a permitir una mayor estabilidad y permitirá que se reduzca el valor de los desplazamientos en el brazo. La diferencia al igual que con la primera grúa es mínima alrededor de 0.001 mm.

### **Comparación de las tres grúas:**

El mínimo valor de desplazamiento corresponde a la grúa de techo móvil como era de esperarse, puesto que es la más rígida de las tres grúas estudiadas donde además también encontramos las menores tensiones.

La grúa ortopédica con actuador lineal también obtiene muy buenos resultados para desplazamientos estando muy cerca de los obtenidos en la grúa de techo.

Por último la grúa con columna eléctrica obtiene unos valores algo más alejados de las otras dos grúas. Obtiene el máximo desplazamiento y esto es debido a la columna larga que hace la función de pilar que tiende a flexionar hacia adelante debido a su longitud.

### **7.3.3. Deformaciones máximas:**

TIPO DE GRÚA	VALOR DE LA DEFORMACIÓN MÁX.	SITUACIÓN DEL MÁX.
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas cerradas.	0.0004249	Base
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas abiertas.	0.00032	Base
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas cerradas.	0.0004751	Carro
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas abiertas.	0.0003733	Carro
Grúa de techo móvil.	0.00006418	Percha

Figura 133: Tabla comparativa de las deformaciones.

**Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con actuador lineal con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

Al igual que los desplazamientos y las tensiones, las deformaciones disminuyen al posicionar las patas en posición de apertura en la zona de la base. Esto se debe a que las placas que unen las patas y la base se encuentran a menos tensión y fuerzan menos entre ellas.

**Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con columna eléctrica con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

Las deformaciones al igual que los desplazamientos se han reducido. Esto está relacionado entre sí de modo que al haber menos desplazamiento del brazo en la posición de las patas abiertas, en esa zona se reducen las deformaciones.

**Comparación de las tres grúas:**

Las dos primeras grúas obtienen valores de deformación similares en cuanto a magnitud, sin embargo la tercera grúa ortopédica obtiene valores muy inferiores a estos. Es hecho es lógico si como ya sabemos esta grúa también tiene tensiones y desplazamientos mucho menores.

**7.3.4. Factores de seguridad mínimos:**

<b>TIPO DE GRÚA</b>	<b>VALOR FACTOR DEL SEGURIDAD MÍN.</b>	<b>SITUACIÓN DEL MÍN.</b>
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas cerradas.	<b>2.03</b>	Pata
Grúa de elevación y traslado con actuador lineal con patas abiertas.	<b>2.15</b>	Pata
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas cerradas.	<b>1.44</b>	Base
Grúa de elevación y traslado con columna eléctrica con patas abiertas.	<b>1.21</b>	Base
Grúa de techo móvil.	<b>13.14</b>	Percha

Figura 134: Tabla comparativa de los factores de seguridad.

**Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con actuador lineal con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

Como ya hemos visto al posicionar las patas en una posición de apertura reducimos los valores máximos de la tensión, el desplazamiento y la deformación, por tanto podemos aumentar el factor de seguridad mínimo en la zona conflictiva.

**Comparación de la grúa ortopédica de elevación y traslado con columna eléctrica con las patas en posición abierta y en posición cerrada:**

Aunque los desplazamientos y las deformaciones hayan disminuido, al abrir las patas de la grúa ortopédica aumentamos considerablemente la tensión de modo que tengamos que reducir el factor de seguridad.

**Comparación de las tres grúas:**

Hemos estado diciendo en los apartados anteriores que la grúa de techo móvil tenía mucha más rigidez que las otras dos y este hecho se puede observar con claridad al comparar los factores de seguridad mínimos de todas las grúas.

Un factor de seguridad de 13.14 se puede considerar alto. Los factores de seguridad de las otras dos grúas están en valores normales.

#### 7.4. COMPARACIÓN DE LAS ZONAS DONDE SE LOCALIZAN LOS MAYORES ESFUERZOS.

##### 7.4.1. Zona de unión de la base con las patas.

La localización de los mayores esfuerzos en esta zona afecta principalmente a la grúa ortopédica de elevación y traslado con actuador lineal. A continuación compararemos como se realiza esta unión en las tres grúas y que piezas las integran.

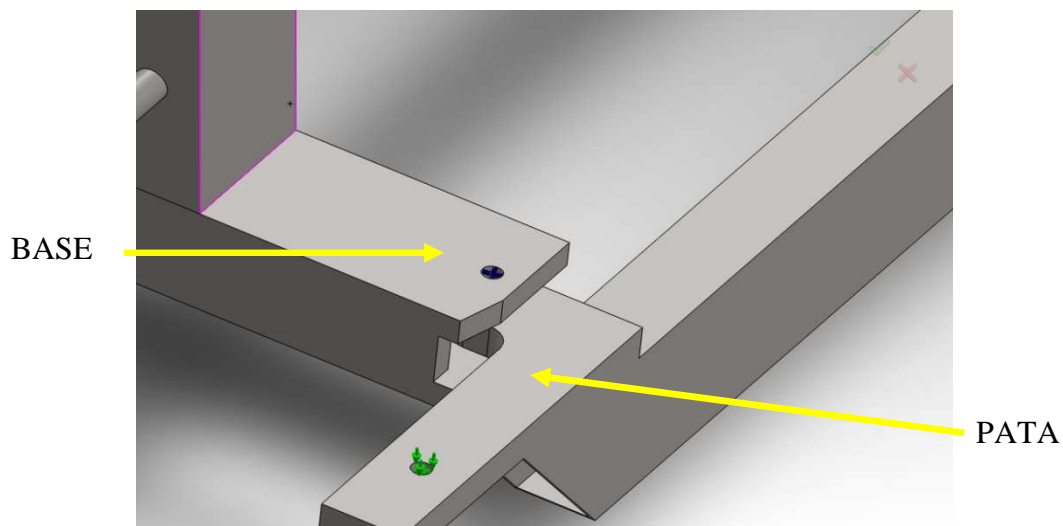


Figura 135: Zona de unión base y pata en grúa con actuador lineal.

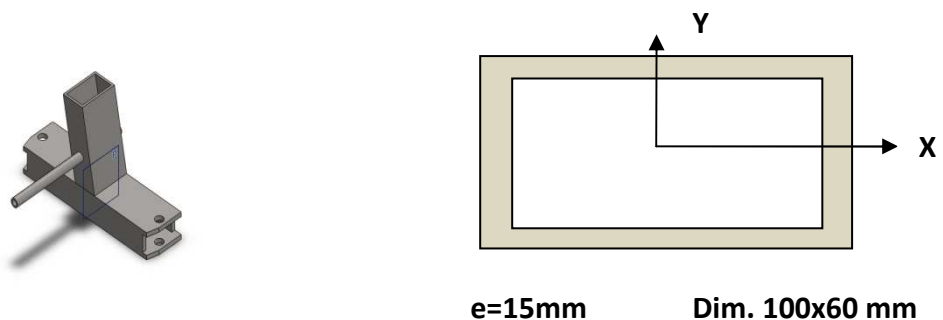


Figura 136: Perfil inferior de la base de grúa con actuador lineal.



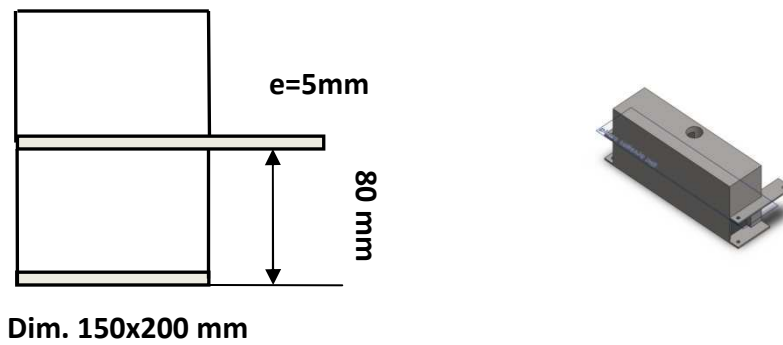


Figura 137: Vista lateral de la base de la grúa con columna eléctrica.

Empezamos comparando las bases de estas dos grúas. No tendremos en cuenta la grúa de techo móvil para comparar sus piezas ya que en ella no existe esta unión.

Ambas bases tienen una longitud y anchura similar. La grúa con actuador lineal tiene una base formada por un perfil inferior y otro superior perpendicular a este, mientras que la base de la grúa con columna elevadora es una caja rectangular hueca a la que se le añaden unos salientes.

En la primera grúa con actuador lineal las fuerzas que se ejercen sobre esta base son oblicuas y por tanto esta tiende a girar para compensarlas, mientras que las ejercidas en la segunda grúa con columna elevadora son perpendiculares a su base.

El hecho de que la primera base tienda a girar hace que las patas deban impedir este giro y absorban los esfuerzos en la unión entre ellas, sin embargo como en la segunda no sucede esta unión no se ve afectada por ello y solo necesitamos hacerla más robusta que la primera para que pueda sostener la columna y reduciremos los espesores de los salientes de unión.



Figura 138: Patas de dos de las grúas.

La geometría que tiene las patas de las dos grúas en la zona de unión también influye en que los esfuerzos se acumulen. Como vemos en las dos figuras de arriba ambas patas tienen una longitud y perfiles similares, pero en la pata de la grúa con actuador lineal el saliente que la une a la base tiene un grosor de 20 mm a un lateral de la misma, mientras que en la pata de la grúa con columna eléctrica la unión se realiza sobre el mismo eje longitudinal de la pata con un cilindro que tiene una longitud de 80 mm y un espesor de 20 mm que se une a los salientes de 5mm.

Esta segunda pata proporciona mucha más rigidez que la segunda.

#### **7.4.2. Zona de unión del brazo y el pilar.**

Esta zona es sobre todo conflictiva para la grúa ortopédica móvil de elevación y traslado con columna eléctrica. A continuación compararemos las piezas en esta zona de las tres grúas.

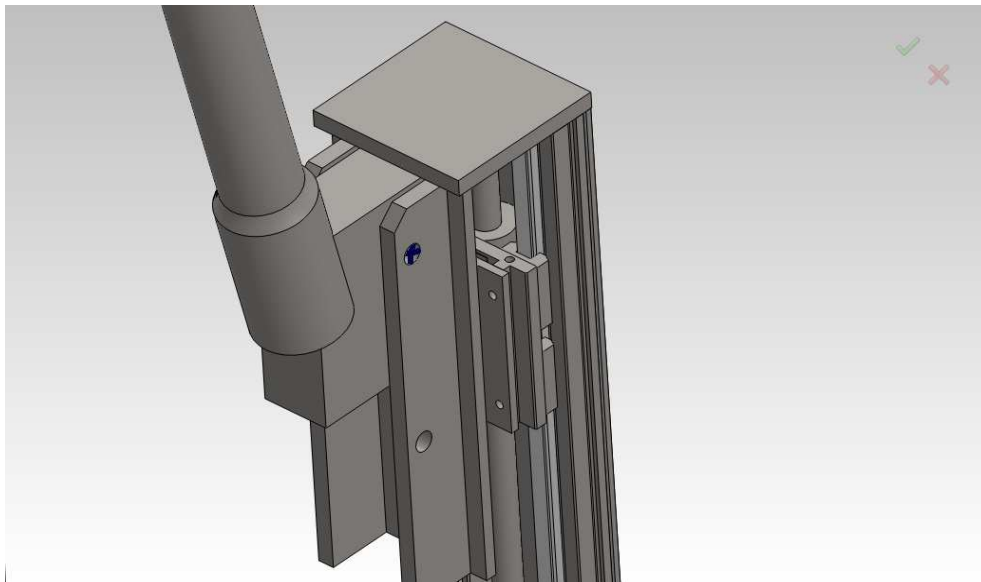


Figura 139: Zona de unión brazo y pilar en grúa con columna eléctrica.

Consideraremos los elementos que unen el brazo al carro como parte del brazo ya que son uniones rígidas, por lo tanto la unión al “pilar” se realiza con el orificio longitudinal perteneciente al carro con el tornillo que esta fijo al resto de la columna que consideraremos como el pilar. Este carro además desliza por unos carriles que forman parte de la estructura del “pilar”.

En la grúa con actuador lineal la unión del brazo y el pilar se realiza mediante un pasador que une dos perfiles encajados uno dentro del otro.

En la grúa de techo la unión se realiza soldando la placa superior de la columna al raíl si consideramos a este el brazo y al conjunto pilar- columna como una columna sola.



Figura 140: Pilares de las tres grúas.

Los tres pilares son similares en longitud total como vemos en la figura 140. En el primer pilar la longitud total es la de la columna elevadora y el pilar en sí. El más ancho de todos estos perfiles es el de la grúa de techo.

Lo que observamos de estas uniones es que en la grúa con columna eléctrica el contacto entre el carro y el tornillo es muy rígido y hace que el peso que se coloca en la percha fuerce a esta unión a desplazarse generando grandes tensiones. Sin embargo en la grúa con actuador lineal esta unión no es rígida, si no que se le permite girar, por eso esta zona no acumula tensiones. Por último en la grúa de techo el peso de la percha y el del propio raíl se distribuyen a través de esta unión y descienden hasta el suelo por lo que la zona no acumula tensiones significativas.

#### **7.4.3. Zona de unión del brazo y la percha.**

Todas las grúas estudiadas acumulan esfuerzos en mayor o menor medida en esta zona, pero debemos reseñar la grúa de techo móvil ya que en esta zona sufre las mayores tensiones, desplazamientos y deformaciones.

Empezaremos comparando las perchas entre sí:



Figura 141: Perchas de las tres grúas.

Es indiscutible que cada una de las tres perchas tiene una geometría diferente, pero todas tienen en común un perfil en forma de arco en cuyos extremos sobresalen los enganches y una parte para unir las al brazo.

Podríamos decir que la percha más rígida sería la que corresponde a la grúa con actuador lineal y la menos rígida la correspondiente a la grúa de techo.

Sin embargo la parte que más influencia los cálculos es la zona en la que esta se une al brazo. En la percha para la grúa con actuador lineal tenemos un cilindro que une el perfil en arco con la pieza en forma de C en la que se coloca el brazo. En la percha de la grúa con columna eléctrica la unión se realiza mediante un cilindro colocado en la parte central del arco y con las mismas dimensiones que este. En la percha de la grúa de techo la unión se ejecuta con un saliente rectangular perpendicular al arco.

La unión menos rígida de todas es la de la grúa de techo y es por lo tanto la que más esfuerzos concentrará.

Por otro lado tenemos los brazos de las tres grúas, cuyas geometrías también afectan a la hora de transmitir los esfuerzos.

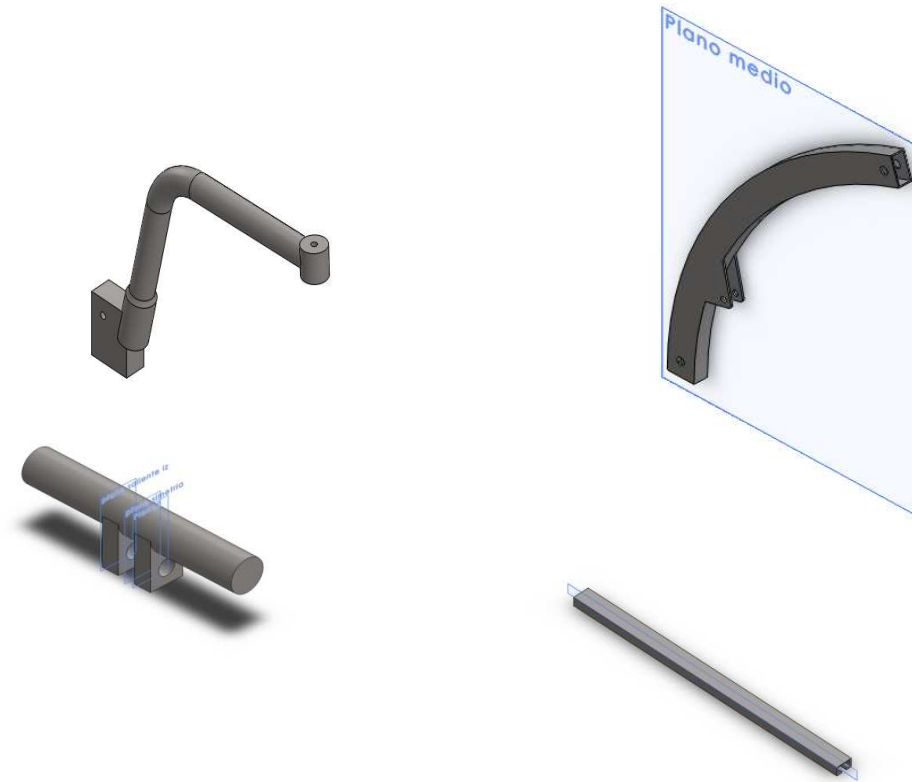


Figura 142: Brazos de las tres grúas.

Estas piezas son las que más difieren geométricamente unas de otras de las grúas. Por una parte tenemos el brazo de la grúa con actuador lineal compuesta por un perfil rectangular hueco mientras que el brazo de la grúa con columna eléctrica está compuesto principalmente por un perfil circular macizo. La más diferente es sin duda la grúa de techo en la que consideramos como “brazo” el raíl por el que circula la percha una vez ha sido unida al eje. Este raíl consiste en un perfil rectangular extrusionado.

Para la grúa de techo podríamos considerar el raíl como una viga y al colocar la carga este se flexiona por lo que aparecen tensiones, desplazamientos y deformaciones en sus caras.

Algo similar pasa con los brazos de las otras dos grúas, en los que al colocar la carga, estos tienden a flexionar siendo el más rígido de los dos brazos el perteneciente a la grúa con columna eléctrica.

## 8. CONCLUSIONES.

Al inicio de este proyecto se ha buscado los tipos de grúas del mercado y se han elegido tres para su estudio detallado. Estas tres grúas ortopédicas elegidas tenían diferentes usos y estaban diseñadas específicamente para ellos de forma distinta al resto. Cada una contaba con un mecanismo de elevación diferente siendo estos: un actuador lineal, una columna eléctrica con tornillo sin fin y una columna elevadora.

Realizando un estudio minucioso de las piezas que formaban parte de sus estructuras, realizamos los croquis con los que posteriormente creamos las piezas en 3D gracias al programa SolidWorks y las ensamblamos entre sí para formar las grúas que posteriormente calcularemos.

En ese apartado de cálculo obtuvimos una gran cantidad de datos de resistencia de las grúas ya que con el software Simulation perteneciente a Solidworks pudimos observar de cerca las zonas que requerían atención y manipular las estructuras en 3D. Los resultados que más nos interesaban fueron la tensión de Von Mises, los desplazamientos, las deformaciones, el factor de seguridad y por último comprobar que los pasadores estaban bien dimensionados.

Con los datos obtenidos se prosiguió a una optimización de las grúas anteriormente diseñadas con el fin de poder compararlas. Es en este apartado final de comparación donde realmente hacemos uso de toda la información estudiada en el proceso del proyecto y es donde comprendemos el comportamiento real de cada una de las grúas. Para ello es necesario comparar tanto sus piezas como sus dimensiones o los resultados obtenidos entre otras cosas.

Por tanto concluyo con que el estudio de estas grúas ha resultado en un dimensionamiento correcto de las mismas y que los esfuerzos que soportan cada una de ellas están dentro de los límites que buscábamos.

Como conclusión final decir, que los programas de simulación como el usado, hoy en día son imprescindibles para comprender el funcionamiento y conocer los esfuerzos que se generan en las máquinas y estructuras y no solo los cálculos “a mano” sirven, si no que es necesario poder conocer como se comportará la maquina en la realidad.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Para este proyecto fin de carrera se han consultado numerosas fuentes de información que expongo a continuación:

- Apuntes:
  - Diseño de máquinas impartida por Paula María Canalís Martínez.
  - Asignatura de Diseño asistido por ordenador impartida por Jose Manuel Auría Apilluelo.
  - Guion de prácticas del grado de mecánica impartidas por Paula María Canalís Martínez.
  - Apuntes de la asignatura elasticidad y resistencia de materiales impartida por José David Bel Cacho.
- Catálogos técnicos:
  - Catálogo del programa preventivo e instrucciones de utilización de grúa “Marisa” marca comercial de grúas Arjo.
  - Catálogo de soluciones de movimiento mecánico de Thomson Linear Motion.
  - Catálogo de productos Actuador LA44 de LINAK.
- Páginas web:
  - [www.solidworks.es](http://www.solidworks.es)
  - [www.linak.es](http://www.linak.es)
  - [www.thomsonlinear.com](http://www.thomsonlinear.com)
  - [www.ortopediaencasa.com](http://www.ortopediaencasa.com)
  - [www.liko.es](http://www.liko.es)
  - [www.arjo.es](http://www.arjo.es)
- Lugares:
  - Residencia para ancianos San Lázaro, Calahorra (La rioja).

## **10. AGRADECIMIENTOS.**

Aprovecho esta última página para agradecer a mi tutora Paula Canalís Martínez la ayuda prestada para poder llevar a cabo este proyecto y el tiempo dedicado a ello. Doy las gracias al profesor José Manuel Auría Apilluelo, por todas las tutorías dedicadas a modelar las distintas partes. También quiero agradecer a la residencia San Lázaro en haberme abierto sus puertas y prestarme sus grúas. Por último agradecer a todos aquellos que han ayudado de algún modo a la realización de este proyecto.

Muchas gracias.

Cristina Salinero Antón.